آماده سازی آب

کالین فراین - ریچارد تی‌بلیک
ترجمه: منصـور حسینی ارانی





یزدا

آماده‌سازی آب

انتشارات علمی کالج
سنندج خ پاسداران مجتمع

آماده‌سازی آب

کالین فراین و ریچارد تی‌بلیک

ترجمه: منصور حسینی ارانی



سرشناسه	: فرین، کالین Frayne، Coline
عنوان و نام پدیدآور	: آماده‌سازی آب / نوشته کالین فراین، ریچارد تی‌بلیک؛ ترجمه منصور حسینی ارانی.
مشخصات نشر	: تهران: یزدا: ماهنامه تهویه و تبرید، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری	: ۱۲۸ ص.: مصور، جدول.
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
موضوع	: هیدرونیک.
موضوع	: گرمایش با آب.
موضوع	: تهویه مطبوع.
شناسه افزوده	: بلیک، ریچاردتی.
شناسه افزوده	: Blak، Richard T
شناسه افزوده	: حسینی ارانی، منصور، -۱۳۳۳
رده‌بندی کنگره	: TH۷۴۶۷/ف۴آ۸ ۱۳۸۷
رده‌بندی دیویی	: ۶۹۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۶۱۹۵۸۷



آماده‌سازی آب

کالین فراین و ریچارد تی‌بلیک
ترجمه: منصور حسینی ارانی

ناشر:	یزدا
چاپ اول:	۱۳۸۸
آماده‌سازی قبل از چاپ:	نشریه تهویه و تبرید
مدیر تولید:	محمد پیروزمند
صفحه‌آرا:	نرگس فرقانی
طراح جلد:	اکرم هاشمی
چاپ / صحافی:	روشنا
قطع و تعداد صفحات:	رقعی- ۱۲۸
شمارگان:	۱۱۰۰ نسخه
بها:	۴۰۰۰ تومان

شابک: ISBN: 978-600-5058-79-6



دفتر نشـر و نمایشگاه دائمی: تهران - سیدخندان - خیابان ارسباران - کوچه ستاری - شماره ۲۲ - ساختمان یزدا تلفن: ۵۰-۲۲۸۸۵۶۴۷ (۰۲۱)

دفتر پخش و نمایشگاه دائمی: تهران - انقلاب - خیابان ۱۲ فروردین - کوچه بهشت آیین - شماره ۲۱ - طبقه سـوم تلفن: ۵-۶۶۴۱۵۲۲۴ (۰۲۱)

فروشگاه یـزد: چهارراه فرهنگیان، ابتدای بلوار شهید سید محمد پـاک‌نژاد، کتاب‌فروشی یـزدا تلفن: ۴-۷۲۶۵۲۷۳(۰۳۵۱)

WWW.HVAC.IR E-MAIL: YAZDA@HVAC.IR

فهرست

پیش‌گفتار

آماده‌سازی آب به منظور استفاده از آن در سیستم‌های تهویه مطبوع یکی از فرآیندهای مهم در معماری و مهندسی ساختمان است که تاثیرات گوناگونی بر ارزیابی و کارآیی کلیه مجموعه‌های احداث شده دارد. استفاده از آب‌های آلوده و یا بررسی نشده در سیستم‌های مختلف تاسیساتی ساختمان می‌تواند علاوه بر ایجاد هزینه‌های اضافی در موارد اجرایی مربوط به تعمیر و نگهداری تاسیسات و هزینه‌های اتلاف انرژی در عملکرد سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجب ایجاد مشکلات بهداشتی و حتا آسیب‌رسانی به سکنه گردد. با توجه به تراکم مناطق شهری و تاثیر متقابل عوامل مختلف بر جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی، حفظ و پاک‌سازی منابع آب مصرفی در دستگاه‌ها و فرآیندهای مختلف بسیار حایز اهمیت است.

در این کتاب منابع مختلف آب در طبیعت و منشا آن‌ها، وجود انواع آلاینده‌های معدنی و ارگانیسم‌های آلی در این منابع معرفی و تاثیر هر یک از گروه‌های عمده در این دو طبقه شناسایی و تشریح شده‌اند. سپس با ارائه گزارش‌های واقعی از مناطق سکونت انسان‌ها، میزان و دامنه مجاز این آلاینده‌ها ارزیابی و روال تخریب و کاهش کارآیی سیستم‌های سرمایش و گرمایش بر اثر وجود آن‌ها نشان داده شده است.

در ادامه طبقه‌بندی آسیب‌ها و معرفی هرکدام و مبحث آسیب‌های ناشی از ارگانیسم‌های آلی و خطر آن‌ها برای سلامتی انسان مطرح شده و آگاهی‌های ضروری در زیان‌های اقتصادی و بهداشتی پیامد حضور این آلاینده‌ها ارائه شده است. در بخش دیگر روش‌های گوناگون برخورد با مشکلات ناشی از آلاینده‌ها و روش‌های پیشگیری همراه با ابزارها و دستگاه‌های دفع این آلاینده‌ها تشریح شده و نحوه اعمال این روش‌ها در سیستم‌های سرمایش و گرمایش تعبیه شده در فضاهای زندگی و کاری انسان‌ها مورد کندوکاو قرار گرفته است.

امید است که مطالب این کتاب مورد توجه و استفاده دست‌اندرکاران صنعت ساختمان قرار بگیرد.

مقدمه

این فصل فن‌آوری حفاظت و ایمن‌سازی آب برای استفاده در تجهیزات انتقال حرارتی صنعتی و تجارتی با تاکید بر سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع را مورد بحث قرار می‌دهد. علاوه بر این، فصل جاری مروری بر نظارت و نگهداری سیستم‌های آبی شامل برج‌های خنک‌کننده و چگالنده‌های تبخیری از جنبه آگاهی‌های روزافزون در مورد خطر عفونت‌های ناشی از سیستم‌هایی که ضعیف طراحی شده و یا به نحوی کثیف و نامطلوب نگهداری می‌شوند، دارد.

باید توجه داشت که خطر عفونت‌ها (از طریق ارگانیسم‌های باکتریایی نظیر لژیونلا اس پی[1]) محدود به سیستم‌های خنک‌کننده نیست و تقریبا می‌تواند از هر نوع سیستم آبی تعبیه شده در ساختمان‌ها شامل خدمات آب‌رسانی سرد و گرم، استخر، استخرهای درمانی، دوش و صفحه‌های رطوبت‌زن ناشی شود. به طریق مشابه می‌توان دریافت که خطر عفونت‌ها ممکن است از هرگونه سیستم تهویه و هوادهی که به نحو نامطلوبی نگهداری و طبق برنامه منظم تمیزکاری نمی‌شوند ناشی شود. در سیستم‌های تهویه، عفونت و سایر مشکلات وابسته به آن عموما به علت وجود ارگانیسم‌های کپکی مانند آسپریژیلوس اس‌پی[2] یا استوکی پتروس اس‌پی یفی[3] یعنی همان ارگانیسم‌هایی که در پشت دیوارهای سنگی و عایق‌بندی نم‌کشیده تکثیر می‌شوند، است. بحث تطبیق زیست‌محیطی، نظارت و کنترل عفونت سیستم‌های آبی و هوایی تاسیسات و ساختمان‌ها از حیطه این کتاب خارج است و همچنین

1. *Legionella sp.*
2. *Aspergillus sp.*
3. *Stachybotrus sp.*

بررســی کلیه جنبه‌های آب‌رســانی به صنایع و فرآیندهای گوناگون در محدوده این کتاب نمی‌گنجد؛ زیرا برای هر یک از انواع فرآیندها نیاز به طراحی خاص می‌باشــد. به منظور بررسی عمیق‌تر فرآیند آب‌رسانی صنعتی به مراجع و واژه‌شناسی مذکور در انتهای کتاب مراجعه کنید.

چرا ایمن‌سازی آب؟

ایمن‌سازی آب با کنترل رسوب‌ها و ذرات سایشی یک فن‌آوری خاص می‌باشد. این مطلب زمانی مورد کندوکاو قرار می‌گیرد که در وهله اول از این‌که چرا برای جلوگیری از معایب جدی و عدم کاربری مطلوب در تجهیزاتی که از آب به عنوان محیط واسطه انتقال حرارت استفاده می‌کنند، ایمن‌سازی آب ضروری است. با مشاهده مشکلاتی که آب می‌تواند مســبب آن‌ها باشــد و مکانیســم رفتاری آب در به وجود آوردن این مشکلات، رسیدن به راه‌حل و امکانات رفاهی واقعی بسیار آسان‌تر می‌شود.

آب یک حلال عمومی است

وقتی‌که آب با جسم خارجی برخورد می‌کند، پدیده انحلال جسم خارجی شروع می‌شــود. بعضی از مواد با سرعت بیشــتری نسبت به دیگر مواد شروع به حل شدن می‌کنند، اما در همه موارد واکنشی بین آب و هر جسمی که با آن تماس داشته باشد، انجام می‌گیرد. همین واکنش مســبب ایجاد مشکلات در تجهیزاتی نظیر دیگ‌ها یا سیستم‌های آب‌سردکن که در آن‌ها از آب به عنوان محیط واسطه انتقال گرما استفاده می‌شود، است. در سیستم‌های مدار باز، مشکلات خورندگی به علت ناخالصی‌هایی که آب از جو جذب می‌کند، وخیم‌تر می‌شوند.

بســیاری از مردم، فرســایش فلزات در اثر تماس با آب و تاثیــرات مخرب آب را دیده‌اند. فرســایش و خورندگی به تنهایی علت ناقص شــدن و تعویض‌های پرهزینه تجهیزات است و همین امر بهترین دلیل در ضرورت ایمن‌سازی آب است.

هزینه فرسایش

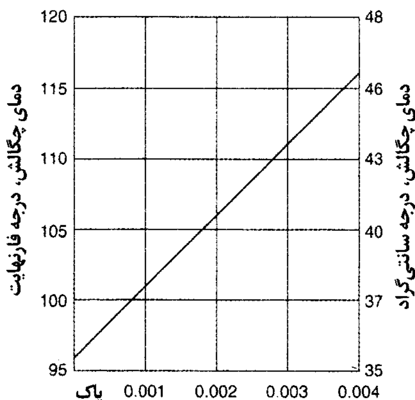
ضرر مستقیم ناشی از تعویض و حفاظت سازه‌های فلزی به علت خوردگی آن‌ها، فقط در ایالات متحده ســالیانه حداقل 20 تا 25 میلیارد دلار است که 8 میلیارد دلار برای جایگزین کردن تجهیزات ضدخوردگی فلزی و پلاستیکی، تقریبا 5 میلیارد دلار

برای ایجاد پوشش‌های محافظ و بیش از 1 میلیارد دلار برای تهیه مواد بازدارنده هزینه می‌شود (سال 2000). این هزینه سنگین فقط برای کاهش زیان‌های خوردگی است! مثال‌های عمومی این خسارت‌ها که عبارتند از زیان‌های حاصل از نقص لوله‌کشی، تجهیزات دیگ و عناصر مبدل گرمایی به سبب خوردگی در این کتاب مورد بحث قرار گرفته‌اند. تنها با طراحی مناسب و به‌کارگیری برنامه‌های ایمن‌سازی منظم در مورد آب مصرفی شامل بازدارنده‌های خوردگی، تجهیزات تهویه مطبوع مانند دیگ‌های حرارتی و چیلرها، قادر به تامین حداکثر عمر مفید خواهند بود.

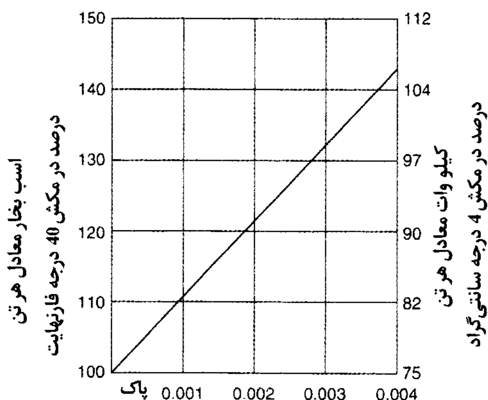
در تجهیزات انتقال حرارتی، رسوب‌ها و خوردگی بر انتقال عادی و مطلوب انرژی حرارتی از ابتدا تا انتهای مسیر موثر هستند. میزان این تاثیرگذاری بر انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی «ضریب رسوب‌گذاری» نامیده می‌شود. در کندانسور دستگاه‌های تهویه اگر ضریب رسوب‌گذاری بالا باشد دمای چگالیده شدن گاز سردکننده افزایش می‌یابد و انرژی مصرفی مورد نیاز برای چگالش گاز سردکننده در آن دمای بالا نیز افزایش می‌یابد. ضریب رسوب‌گذاری پیشنهاد شده از طرف سازنده برای چیلرهای تهویه و کندانسورها معادل 0.0005 است. بدین معنا که در شرایطی که ضریب رسوب‌گذاری بالاتر از 0.0005 است، تجهیزات، بدون کاهش شدید کارآیی دستگاه قادر به تحمل رسوب‌های حاصله نیستند.

تصویر (1) تاثیر رسوب بر دمای چگالیدن در یک کندانسور معمولی را نشان می‌دهد. از این نمودار درمی‌یابیم که دمای چگالش متناسب با ضریب رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد. افزایش دمای چگالش نیز متناسب با افزایش و یا میزان اسب بخار کمپرسور برای تقطیر گاز سردکننده است. بنابراین طبق تصویر (2)، ضریب رسوب‌گذاری بر میزان اسب بخار کمپرسور و مصرف انرژی آن تاثیر می‌گذارد. لوله‌های کمپرسور با عبور آب سرد از درون آن‌ها، به سرعت تولید رسوب می‌کنند که سبب رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم بر سطح محیط واسطه فرآیند انتقال حرارتی می‌شود. شرح مکانیسم این نوع ایجاد رسوب‌گذاری در بخش‌های بعدی آورده شده است.

جدول (1)، ضریب رسوب‌گذاری برای ضخامت‌های مختلف لایه‌های رسوبی کربنات‌کلسیم که معمولا در شرایطی که ایمن‌سازی آب وجود ندارد و یا به طور ناقص اجرا می‌شود، بر روی سطح لوله‌های کندانسور تشکیل می‌شوند را، فهرست نموده است. در تصویر (3)، نمودار مصرف انرژی اضافی مورد نیاز برای جبران افت کارآیی



تصویر (1): تاثیر رسوب بر دمای چگالش

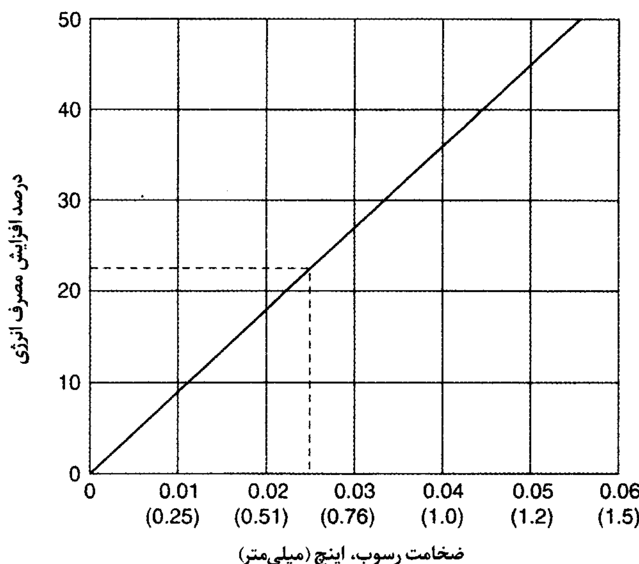


تصویر (2): تاثیر رسوب بر میزان انرژی اسب بخار کمپرسور
(از کتاب‌های راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش 5. «تامین آب»)

جدول (1): ضریب رسوب‌گذاری برای رسوب کربنات کلسیم

ضریب رسوب‌گذاری	ضخامت تقریبی رسوب کربنات‌کلسیم، به میلی‌متر
پاک	0.000
0.0005	0.006 (0.1524)
0.0010	0.012 (0.3048)
0.0020	0.024 (0.6096)
0.0030	0.036 (0.9144)

منبع: کتاب‌های راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش 5 «تامین آب»



تصویر (3): تاثیر رسوب لوله‌های کندانسور برمصرف انرژی از رابطه $K = 1.0\ Btu/(h\ ft^3\ \text{-}^{o}F)$. مثلا اگر ضخامت رسوب 0.025 اینچ (0.6 میلی‌متر) باشد، مصرف انرژی 22 درصد افزایش دارد

ناشـــی از رسوب کربنات‌کلســـیم بر روی لوله کندانسور یک یخچال، نشان داده شده است. نمودار نشان می‌دهد که لایه رسوبی به ضخامت 0.025 اینچ (0.635 میلی‌متر) [ضریب رسوب‌گذاری 0.002] سبب ایجاد 22 درصد افزایش مصرف انرژی است که در واقع به هدر می‌رود.

هزینه‌های رسوب و پسماندها

هزینه‌های واقعی مرتبط با رسوب و پسماندها مایه شگفتی است. مثلا تاسیسات تهویـــه مطبوع با ظرفیـــت 500 تن که میزان رســـوب‌گذاری در آن 0.025 اینچ (0.635 میلی‌متر) رسوب کربنات‌کلسیم است، برای حفظ کارآیی به 22 درصد افزایش مصرف انرژی نیاز خواهد داشت و هزینه این مصرف اضافی تقریبا معادل 4752 دلار فقط برای مدت یک‌ماه (720 ســـاعت) کارکرد سرمایشـــی سیستم است. این محاسبه برمبنای کاربری یک دستگاه تهویه مطبوع برقی است که کمپرسور آن به انرژی 0.75 کیلووات

بر (تن در ساعت) برای سرمایش نیاز دارد. قابل توجه است که میانگین هزینه تامین این انرژی در اوایل سال 2000 معادل 8 سنت بر کیلووات ساعت بوده و بنابراین 4752 = 500×720×0.220.08 دلار می‌شود.

با مراقبت صحیح و توجه به ایمن‌سازی آب، از مصرف اضافی انرژی جلوگیری می‌شود. به همین ترتیب در کاربری یک دیگ با هدف ایجاد حرارت یا سایر مقاصد کاربردی، تشکیل یک لایه نارسانا از رسوب بر روی سطوح دستگاه مصرف انرژی آن را افزایش می‌دهد.

رسوب‌ها و پسماندهای مربوط به دیگ‌ها می‌توانند شامل مواد مختلفی نظیر آهن، سیلیس، کلیسم، منیزیم، کربنات‌ها، سولفات و فسفات‌ها باشند. هر یک از این مواد با رسوب‌گذاری بر لوله‌های دیگ، مقداری نارسانایی در آن‌ها ایجاد می‌نمایند. این رسوب‌ها سبب کاهش نرخ انتقال گرمایی از گازهای گرم شده و یا شعله دیگ به آب موجود در سیستم می‌شوند. با کاهش بازدهی انتقال گرمایی، دمای لوله فلزی دیگ افزایش می‌یابد. پوشش رسوب تبدیل به عامل کاهنده‌ای در برابر انتقال گرمایی از گازهای مشعل به آب دیگ می‌شوند. این مقاومت در برابر فرآیند انتقال گرمایی سبب افزایش سریع دمای فلز به میزانی می‌شود که قادر به تغییر شکل دادن آن شده و در نتیجه کارآیی آن افت می‌کند. این جدی‌ترین تاثیر رسوب‌های دیگ است که حتا می‌تواند منجر به انفجار دیگ شود.

تصویر (4) تغییرشکل لوله دیگ را بر اثر رسوب نشان می‌دهد. جدول (2) مقادیر میانگین اتلاف انرژی بر اثر رسوب دیگ را نشان می‌دهد. یک رسوب پوششی به ضخامت $^{1}/_{16}$ اینچ (1.588 میلی‌متر) می‌تواند اتلاف انرژی به میزان 4 درصد ایجاد کند. بدین معنا که اتلاف 4 درصد انرژی ناشی از رسوب سبب مصرف 864 گالن (3270.6 لیتر) سوخت شماره 6[1] بیش از مواقع عادی برای کارآیی دیگ بخار در سطح 100 اسب بخار دیگ (bhp) (1564.9 کیلوگرم) در مدت 1 ماه (720 ساعت) می‌شود. هزینه سوخت اضافی متناسب با افت بازدهی به سادگی به هزاران دلار در سال می‌رسد.

1. سوخت نفت شماره 6، سنگین‌ترین و غلیظ‌ترین سوخت نفتی یا مازوت است. (مترجم)



تصویر (4): تغییر شکل لوله دیگ

جدول (2): تاثیر ضخامت رسوب‌گذاری در دیگ بر اتلاف انرژی

اتلاف انرژی، %	رسوب ضخیم (از نوع آهن سیلیکا)	رسوب عادی، از نوع کربنات کلسیم، اینچ (میلی‌متر)
2	$^1/_{64}$ (0.397)	$^1/_{32}$ (0.794)
4	$^1/_{32}$ (0.794)	$^1/_{16}$ (1.588)
6	$^3/_{64}$ (1.191)	$^3/_{32}$ (2.381)
8	$^1/_{16}$ (1.588)	$^1/_8$ (3.175)
12	$^3/_{32}$ (2.381)	$^3/_{16}$ (4.763)
16	$^1/_8$ (3.175)	$^1/_4$ (6.350)

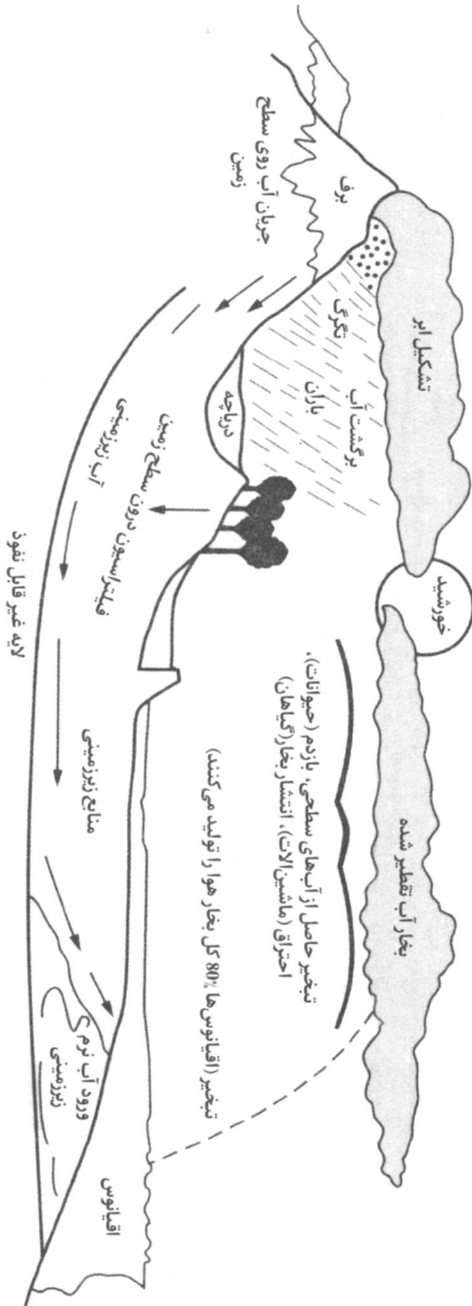
شیمی آب

آب و ناخالصی‌های درون آن سبب خوردگی فلزات و تشکیل رسوب بر سطوح در فرآیند انتقال گرمایی است و پیامد آن کاهش بازدهی و اتلاف انرژی است. حال که اثرات خورندگی را دریافتیم، اجازه دهید که چگونگی جلوگیری از ایجاد آن‌ها را بررسی کنیم. بهترین روش بررسی راه‌های جلوگیری از بروز این عوامل، درک علل اساسی و چگونگی تشکیل آن‌ها است.

آب، که به طور عادی در تجهیزات انتقال گرمایی نظیر دیگ‌ها، برج‌های خنک‌کننده و مبدل‌های حرارتی حضور دارد، محتوی ناخالصی‌های زیادی است. این ناخالصی‌ها منبع آب را کم و بیش مستعد خوردگی و تشکیل رسوب می‌سازند.

چرخه آب در طبیعت

چرخه آب در طبیعت (تصویر 5) سه مرحله دارد: تبخیر، تقطیر و بارش. این چرخه با گرم شدن سطح آب‌های کره زمین بر اثر تابش اشعه خورشید شروع می‌شود. در



تصویر (5): چرخه آب در طبیعت

این مرحله آب تبخیر شده و به سمت لایه تروپسفر[1] متصاعد می‌شود و یک لایه نازک از هوای مرطوب به ضخامت تقریبی 7 مایل (11 کیلومتر) در اطراف کره زمین تشکیل می‌دهد. از چگالیده شـدن رطوبت در لایه تروپسـفر، ابرها شکل می‌گیرند و ابرها با حرکت سـطوح بالای زمین توسـط باد، با جریان‌های هوای سرد برخورد کرده و این تماس سبب بارش باران یا برف می‌شود. بدین‌ترتیب آب برای تکرار این چرخه به سطح زمین بازمی‌گردد. آب در سراسر این چرخه، ناخالصی‌ها را جذب می‌کند. هنگام بارش در درون اتمسـفر زمین گازهای اکسیژن، ازت، دی‌اکسیدکربن، اکسید ازت، اکسید گوگرد و بسیاری از اکسیدهای موجود در لایه اتمسفر را در خود حل می‌کند.

مقدار این گازها در اتمسفر به وضعیت جغرافیایی وابسته است. مثلا، در مناطق وسیع شهری، آب باران اغلب محتوی تراکم‌های بالا از دی‌اکسیدکربن، اکسید گوگرد و اکسید ازت است. در مناطق روستایی، آب باران محتوی مقادیر کمتری از این قبیل گازها است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که در سال‌های اخیر کیفیت اسیدی آب باران به میزان ثابتی افزایش داشته است. این افزایش به دلیل افزایش مقادیر اکسیدهای ازت و گوگرد آلوده‌کننده لایه اتمسفر است (باران اسیدی).

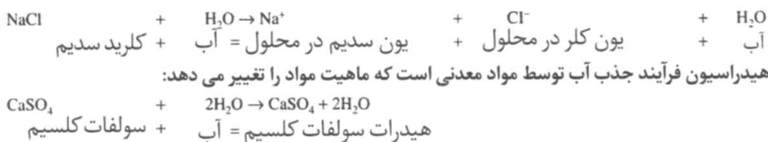
ناخالصی‌های آب

آب بـاران در برخورد با سـطح زمیـن تمایل به جذب و انحـلال مواد معدنی موجود بر سـطح زمین را دارد. هرچه کیفیت اسـیدی آب باران بیشـتر باشـد، واکنش‌های شدیدتری با مواد معدنی خواهد داشت. عمده‌ترین واکنش‌ها هیدرولیز[2] و هیدراسـیون[3] هستند، با عبور آب از لایه‌های گچ، کلسیت[4]، دولومیت[5] و کوارتز، ترکیبات کلسیم، سیلیس و منیزیم موجود در این لایه‌ها را حل می‌کند (جدول 3). سایر کانی‌های موجود در پوسته کره زمین نیز در آب حل شده و از پوسته زمین جدا می‌شـوند. جدول (4) تعدادی از کانی‌های موجود در سطح زمین را که در آب حل شـده و ناخالصی‌های آب را تشـکیل می‌دهند، نشان می‌دهد. آب باران در نهرها، رودخانه‌هـا و دریاچه‌ها و برکه‌های طبیعی و در منابع سـاخته شـده، جمع‌آوری

1. Troposphere
2. Hydrolysis
3. Hydration
4. Calcite
5. Dolomite

جدول (3): *واکنش‌های آب با مواد معدنی*

هیدرولیز واکنش بین آب و مواد معدنی است که در آن مواد در آب حل می‌شود:



$NaCl + H_2O \rightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O$

کلرید سدیم + آب = یون سدیم در محلول + یون کلر در محلول + آب

هیدراسیون فرآیند جذب آب توسط مواد معدنی است که ماهیت مواد را تغییر می دهد:

$CaSO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$

سولفات کلسیم + آب = هیدرات سولفات کلسیم

جدول (4): *طبقه‌بندی کانی‌ها*

سیلیکات‌ها	کوارتز، عقیق، میکا، چیرت، فلداسپار، هورن بلاند
کارپونات‌ها	کالسیت، دولومیت، سنگ آهک
هالیدها	هالیت، فلوریت
اکسیدها	هماتیت، یخ، ماگنتیت، بوکسیت
سولفات‌ها	انیدرید، گچ
سولفیدها	گالنا، پیریت
عناصر طبیعی	مس، سولفور، طلا، نقره
فسفات‌ها	آپاتیت

می‌شود. این منابع آب‌های سطحی کانی‌های کمتری دارند اما محتوی گازهای حل شده بیشتری هستند.

منابع آب‌های زیرزمینی حاصل نفوذ آب‌های سطحی از لابه‌لای خاک و سنگ‌ها هستند و معمولا مقادیر زیادی مواد معدنی در خود دارند و میزان گازهای حل شده در این نوع منابع ناچیز است، هر چند که موارد استثنا در این قاعده وجود دارد. جدول (5) فهرستی از منابع مختلف آبی ارائه می‌دهد. تصویرهای 6 تا 10 ترکیبات متشکله آب‌های سطحی و زیرزمینی را نشان می‌دهند. فهرست ترکیبات متشکله این دو منبع آب به طور اجمالی نشان می‌دهد که ناخالصی‌ها و املاح معدنی به طور یقین نسبت به موقعیت جغرافیایی متغیر هستند. در واقع بسیاری از چاه‌های آب در مناطق نزدیک به یکدیگر نیز تفاوت‌های زیادی از نظر املاح معدنی از خود نشان می‌دهند. در اینجا ناخالصی‌های اساســی و عمده موجود در آب را ارزیابی می‌کنیم تا دریابیم که چگونه این ناخالصی‌ها در ایجاد خوردگی و رسوب موثر هستند.

جدول (5): منابع آب

دریاچه‌ها و منابع آب تازه	آب‌های سطحی
آب زیرزمینی	آب زیرزمینی حاصل از نفوذ و رسوخ آب‌های جاری بر روی سطح زمین
بسترهای آب	آب‌های موجود در صخره‌های اشباع شده از آب که در لایه بالای لایه نفوذناپذیر کره زمین قرار دارند
چاه‌ها	فضاهای مملو از آب و محصور مابین صخره‌های زیر زمینی - آب‌های نفوذ و رسوخ کرده از سطح به درون کره زمین که کانی‌های تشکیل دهنده کره زمین را جذب و حل کرده است (بنابراین آب چاه دارای بالاترین میزان املاح معدنی است)

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS

NEW YORK CITY

DATE

SAMPLING DATE

REPRESENTATIVE

ANALYSIS NUMBER		339568		
SOURCE		CITY		
pH		6.9		
P ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L			
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2, mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$, mg/L	12.		
CARBONATES	$CaCO_3$, mg/L			
HYDROXIDES	$CaCO_3$, mg/L			
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	12.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$, mg/L	16.		
SULFATE	SO_4, mg/L			
SILICA	SiO_2, mg/L	1.5		
IRON	Fe, mg/L	Trace		
CHLORIDE	NaCl, mg/L	13.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO_4, mg/L			
CHROMATE	Na_2CrO_4, mg/L			
NITRITE	$NaNO_2$, mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm			
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	33.5		
SUSPENDED MATTER				
BIOLOGICAL GROWTHS				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5º/15.5ºC				
FREEZING POINT ºC/ºF				
	% BY WEIGHT			

NOTES: 1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/l) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg).
2. CYCLES OF CONCENTRATION = CHLORIDES IN SAMPLE / CHLORIDES IN MAKEUP

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر (6): گواهی‌نامه تجزیه آب شهر نیویورک

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS



SYRACUSE, N.Y. (OTISCO LAKE)

DATE ______
SAMPLING DATE ______
REPRESENTATIVE ______

ANALYSIS NUMBER			57627		
SOURCE*			CITY		
pH			7.4		
P ALKALINITY	$CaCO_3$,	mg/L	0.0		
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2,	mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$,	mg/L	85.		
CARBONATES	$CaCO_3$,	mg/L			
HYDROXIDES	$CaCO_3$,	mg/L			
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$,	mg/L	85.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$,	mg/L	132.		
SULFATE	SO_4,	mg/L			
SILICA	SiO_2,	mg/L	1.0		
IRON	Fe,	mg/L	0.0		
CHLORIDE	NaCl,	mg/L	21.		
ORGANIC INHIBITOR		mg/L			
PHOSPHATE	PO_4,	mg/L			
CHROMATE	Na_2CrO_4,	mg/L			
NITRITE	$NaNO_2$,	mg/L			
ZINC	Zn,	mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE		mmhos/cm	245.		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS		mg/L	148.		
SUSPENDED MATTER			Trace		
BIOLOGICAL GROWTHS			Trace		
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C					
FREEZING POINT °C/°F					
		% BY WEIGHT			

NOTES: 1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg)
2. CYCLES OF CONCENTRATION = $\frac{\text{CHLORIDES IN SAMPLE}}{\text{CHLORIDES IN MAKEUP}}$

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر (7): گواهی‌نامه تجزیه آب شهر سیراکوز (دریاچه اوتیسکو) نیویورک

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS



WASHINGTON, D.C. (POTOMAC RIVER)

DATE
SAMPLING DATE
REPRESENTATIVE

ANALYSIS NUMBER		20197		
SOURCE		CITY		
pH		7.7		
P ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L			
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2, mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$, mg/L	90.		
CARBONATES	$CaCO_3$, mg/L			
HYDROXIDES	$CaCO_3$, mg/L			
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	90.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$, mg/L	140.		
SULFATE	SO_4, mg/L			
SILICA	SiO_2, mg/L	7.0		
IRON	Fe, mg/L	0.0		
CHLORIDE	NaCl, mg/L	41.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO_4, mg/L			
CHROMATE	Na_2CrO_4, mg/L			
NITRITE	$NaNO_2$, mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm			
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	195.		
SUSPENDED MATTER				
BIOLOGICAL GROWTHS				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C				
FREEZING POINT °C/°F				
	% BY WEIGHT			

NOTES:
1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg).
2. CYCLES OF CONCENTRATION = CHLORIDES IN SAMPLE / CHLORIDES IN MAKEUP

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر (8): گواهی‌نامه تجزیه آب رودخانه پوتوماک (واشنگتن)

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS



JAMAICA, N. Y. (WELLS)

DATE

SAMPLING DATE

REPRESENTATIVE

ANALYSIS NUMBER		38140		
SOURCE		CITY WATER		
pH		7.0		
P ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	0.0		
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2, mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$, mg/L	30.		
CARBONATES	$CaCO_3$, mg/L			
HYDROXIDES	$CaCO_3$, mg/L			
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	30.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$, mg/L	60.		
SULFATE	SO_4, mg/L			
SILICA	SiO_2, mg/L	14.3		
IRON	Fe, mg/L	0.07		
CHLORIDE	NaCl, mg/L	29.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO_4, mg/L			
CHROMATE	Na_2CrO_4, mg/L			
NITRITE	$NaNO_2$, mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	154.		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	106.		
SUSPENDED MATTER				
BIOLOGICAL GROWTHS				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5º/15.5ºC				
FREEZING POINT ºC/ºF				
	% BY WEIGHT			

NOTES: 1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg).
2. CYCLES OF CONCENTRATION = $\frac{\text{CHLORIDES IN SAMPLE}}{\text{CHLORIDES IN MAKEUP}}$

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر (9): گواهی‌نامه تجزیه آب شهر جامایکا در ایالت نیویورک (آب چاه)

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS

YELLOW SPRINGS, OHIO (WELLS)

DATE

SAMPLING DATE

REPRESENTATIVE

ANALYSIS NUMBER		47588		
SOURCE		CITY WATER		
pH		7.6		
P ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	0.0		
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2, mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$, mg/L	300.		
CARBONATES	$CaCO_3$, mg/L			
HYDROXIDES	$CaCO_3$, mg/L			
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	300.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$, mg/L	454.		
SULFATE	SO_4, mg/L			
SILICA,	SiO_2, mg/L	9.5		
IRON	Fe, mg/L	0.0		
CHLORIDE	NaCl, mg/L	58.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO_4, mg/L			
CHROMATE	Na_2CrO_4, mg/L			
NITRITE	$NaNO_2$, mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	840.		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	514.		
SUSPENDED MATTER		Abs.		
BIOLOGICAL GROWTHS		Abs.		
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C				
FREEZING POINT °C/°F				
	% BY WEIGHT			

NOTES:

1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg)
2. CYCLES OF CONCENTRATION = $\frac{\text{CHLORIDES IN SAMPLE}}{\text{CHLORIDES IN MAKEUP}}$

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر (10): گواهی‌نامه تجزیه آب یلو اسپرینگز ایالت اوهایو (آب چاه)

گازهای محلول

اکسیژن یکی از گازهای موجود در جو است که تقریبا ٪20 هوا را تشکیل می‌دهد. اکسیژن موجود در آب برای ادامه حیات دریایی ضروری است. هر چند که این گاز عامل اصلی فرآیند خوردگی و در واقع مسبب اصلی فرسودگی فلزات است. بنابراین نسبت انحلال اکسیژن در آب، در تحقیق در رسوب‌گذاری و خوردگی حایز اهمیت است.

دی‌اکسیدکربن در هر دو منبع آب سطحی و زیرزمینی وجود دارد. این منابع آبی، مقادیر کم دی‌اکسیدکربن را از اتمسفر جذب می‌کنند. مقادیر زیادی دی‌اکسیدکربن از پسماند مواد آلی در آب و محیط پیرامون آن جذب می‌شود. دی‌اکسیدکربن با اسیدی کردن نقش مهمی در فرآیند خوردگی دارد. اسیدی شدن آب قابلیت انحلال فلزات را افزایش می‌دهد.

دی‌اکسیدکربن هنگام حل شدن در آب طبق واکنش زیر مقدار کمی اسیدکربنیک تولید می‌کند:



$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

اسید کربنیک ← آب + دی‌اکسیدکربن

اکسیدهای گوگرد. اکسیدهای گازی گوگرد موجود در جو، نتیجه فرآیند جذب در جو هستند و به صورت آلاینده‌های ناشی از سوخت‌های محتوی گوگرد مانند ذغال سنگ و سوخت‌های نفتی در هوا معلق هستند. در مناطق شهری مقدار اکسیدهای گوگرد جذب شده توسط آب‌های سطحی و آب‌های هواداده شده مورد استفاده در برج‌های خنک‌کننده، قابل توجه است. ترکیب این اکسیدها با آب منجر به تولید اسیدهایی می‌شود که هوای سایشی را ایجاد می‌کند.



$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

اسید سولفوریک ← آب + اکسیدگوگرد

اکسیدهای ازت. نیز در جو به هر دو صورت طبیعی و حاصل آلودگی ناشی از فرآیندهای سوختی وجود دارند و این اکسیدها نیز مشابه اکسیدهای گوگرد با جذب شدن به وسیله آب، تولیدکننده اسیدهای خورنده هستند.



$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

اکسید ازت + اسیدنیتریک ← آب + دی‌اکسیدازت

ســولفید هیدروژن. بوی نامطبوع بعضی از آب‌ها که مشابه بوی تخم‌مرغ فاسد است ناشی از وجود سولفید هیدروژن است. این گاز از تخریب مواد آلی و رسوب گوگرد تولید می‌شود. سولفید هیدروژن از واکنش بین آب اسیددار با کانی‌های سولفیددار مانند پیریت که سولفیدآهن و با نام «طلای جعلی[1]» مشهور است، تولید می‌شود:



$$FeS + 2H^+ \rightarrow Fe^{2+} + H_2S$$

سولفیدهیدروژن + یون آهن ← بنیان اسیدی + سولفیدآهن
در محلول در محلول

سولفیدهیدروژن پس از واکنش آب، اسیدهیدروسولفوریک که یک محلول ملایم اسیدی است؛ تولید می‌کند. این ترکیب شیمیایی نیز از تجزیه مواد آلی و پروتئین‌های گوگرددار در آب حاصل می‌شود. ســولفیدهیدروژن جزو اصلی تشــکیل‌دهنده گاز گنداب، گاز مرداب و گاز ذغال‌سنگ است. این گاز می‌تواند محلول در آب باشد و یا از این منابع تولید شود. این گاز به علت واکنش اسیدی با آب بسیار خورنده است و باید به نحوی دفع و یا خنثا شود.

مواد معدنی حل‌شده در آب

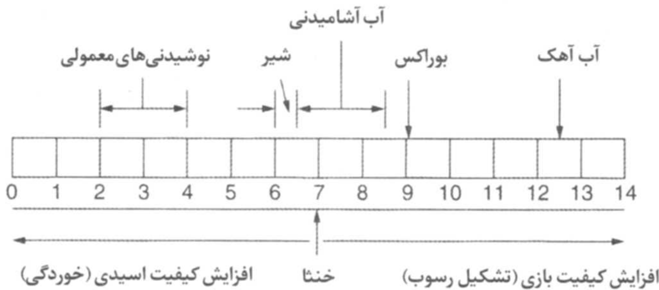
خاصیت قلیایی. این خاصیت وابسته به مقدار مواد قلیایی معدنی حل شده در آب است که با معیار کربنات‌کلسیم ارزیابی می‌شوند زیرا این ترکیب عمده‌ترین ماده قلیایی معدنی به‌وجود آورنده خاصیت قلیایی اســت. خاصیت قلیایی با معیار هیدروکسید، اگر موجود باشــد نیز اندازه‌گیری می‌شود. آب‌های طبیعی همگی مقداری خاصیت قلیایی دارند. این عامل سبب تشکیل رسوب می‌شود زیرا رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم یا آهک را تشدید می‌کند.

مقدار pH. کیفیت قلیایی بودن و یا میزان نسبی قدرت اسیدی و بازی آب، مقدار pH است، مقدار pH با ارزیابی یون هیدروژن در آب، محاسبه می‌شود. درجه‌بندی pH از نماد صفر تا 14 است و pH معادل 7 نماینده خنثا بودن است و نشان‌دهنده تعادل مابین کیفیت اسیدی و قلیایی آب است. با کاهش pH در جهت صفر شدن، کیفیت

1. *Fool's gold*

قلیایی کاهش و کیفیت اسیدی افزایش می‌یابد.

با افزایش pH در رسیدن به عدد 14، کیفیت قلیایی افزایش و کیفیت اسیدی کاهش می‌یابد. درجه‌بندی pH (تصویر 11) برای تفسیر قدرت، یا چگالی اسیدی و یا قلیایی بودن محلول آب به‌کار می‌رود. درجه‌بندی لگاریتمی است و بنابراین تغییر یک واحد pH نماینده افزایش و یا کاهش توان ده در خواص اسیدی و یا قلیایی آب است، پس آبی که pH آن 4 است، 100 بار اسیدی‌تر از آبی است که pH آن 6 است. اگر مقدار pH در بخش اسیدی قرار گیرد، آب خورنده می‌شود در صورتی‌که مقدار pH در بخش قلیایی است، در این‌صورت تمایل آب به رسوب‌گذاری شدیدتر خواهد شد.



تصویر (11): جدول pH

سختی. سختی آب عبارت از مقدار کلی کلسیم، منیزیم، آهن و سایر عناصر فلزی موجود در آب است و بدین معنا که آب را «زبر» می‌کنند. سختی آب نیز با معیار کربنات‌کلسیم محاسبه می‌شود زیرا این ترکیب نقش عمده‌ای در ایجاد سختی دارد. سختی آب سبب ایجاد رسوب آهک در تجهیزات می‌شود.

سیلیس. سیلیس شن و یا سنگ‌های سیلیسی (مانند کوارتز) است که با عبور آب از درون آن‌ها، در آب حل شده‌اند. سیلیس مسبب تشکیل رسوب‌های سخت و مقاوم است که در تجهیزات انتقال حرارتی تشکیل می‌شوند. سیلیس یا به صورت سیلیکات محلول در آب و یا به شکل سیلیس کولوییدی غیرمرئی معلق در آب وجود دارد.

آهن، منیزیم و آلومین. این عناصر فلزی محلول و یا معلق در آب به نسبت‌های مختلف وجود دارند. این عناصر به علت تشکیل رگه‌های مسطح و رسوب در آب، نامطلوب هستند و هنگامی‌که آب در معرض هوای جو قرار می‌گیرد با اکسیژن واکنش

نشـان داده و با ایجاد اکسـیدهای فلزی سبب کدر شدن آب و یا به‌وجود آمدن «آب سـرخ» می‌شوند. رنگ سرخ زنگاری که به طور عمده از اکسیدآهن حاصل می‌شود، سـبب زنگ‌زدگی لوله‌کشی، سنک‌ها و پوشـش‌های سرامیکی و تغییر رنگ رایج در سازه‌ها می‌شود.

کلرورها. کلرورها مجموعه نمک‌های کلردار سـدیم، پتاسـیم، کلسیم و منیزیم محلول در آب هستند. کلرور سدیم یا نمک طعام و کلرور کلسیم رایج‌ترین کلرورهای موجود در آب هسـتند. کلرورها معمولا به علت ضریب انحلال بالا، موجب تشکیل رسوب نیستند. اما این ترکیبات خاصیت خورندگی دارند و در صورتی‌که مقدار آن‌ها مانند آب دریا بیش از حد مجاز باشد، اثر فرسایشی قابل توجه‌ای دارند.

سولفات‌ها. نمک‌های سولفات سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول در آب هستند. این املاح با عبور آب از صخره‌های دارای نمک‌های سولفات مانند لایه‌های گچی در مسـیر آب به صورت محلول همراه با آب هسـتند. رسوب سولفات کلسیم و منیزیم بسـیار سخت اسـت و تمیز کردن آن بسیار مشکل بوده و در فرآیند انتقال حرارتی معضل بزرگی است.

کل جامدات حل شـده. میزان کل جامدات حل شده در آب [1] عبارت از مجموع ترکیبات معدنی محلول در آب شـامل کربنات‌ها، کلرورها، سولفات‌ها و سایر املاح موجود در آب اسـت. جامدات حل شده در آب سبب تشکیل رسوب و خورندگی در تجیهزات انتقال حرارتی می‌شوند.

مواد معلق. مواد معلق در آب شـامل اجسـام آلی و معدنی بسیار ریز و مستقلی اسـت که در آب یافت می‌شـوند. این ذرات حاصل ماسـه خاکی و یا ارگانیسم‌های میکروسـکوپی هسـتند که در آب وجود دارند و سبب تیره شدن رنگ آب می‌شوند. کمیت این مواد معلق معیار گل‌آلودگی آب است. گل‌آلودگی با شدت نور شکسته شده در برخورد با مواد معلق در آب اندازه‌گیری می‌شود.

خوردگی

خوردگی فلزات فرآیندی اسـت که طی آن فلز در واکنش نسبت به محیطی که در آن قرار دارد از وضعیت فلز خالص به اکسید فلز یا سایر ترکیبات پایدار از آن تغییر

1. *Total Resolved Solids (TDS)*

می‌کند. به طور معمول بر اثر خورندگی، فلز به حالت موجود در طبیعت یعنی سنگ معدنی بازمی‌گردد. مثلا، آهن به تدریج در آب حل می‌شود و بر اثر واکنش با اکسیژن موجود در آب اکسیده شده و اکسید آهن معروف به زنگار را تشکیل می‌دهد. این فرآیند در تجهیزات انتقال حرارتی به دلیل وجود گرما، گازهای خورنده و مواد معدنی محلول در آب، به سرعت واقع شده و منجر به تشدید فرآیند خورندگی می‌شود.

رایج‌ترین وضعیت‌های فرسودگی یافت شده در تجهیزات حرارتی عبارتند از:

- خوردگی کلی
- خوردگی الکتروشیمیایی
- خوردگی گالوانیکی
- خوردگی سلول غلظت
- خوردگی تنشی
- خوردگی رفتگی
- خوردگی شیاری چگالیده
- خوردگی میکروبیولوژیکی (MIC)

خوردگی کلی

خوردگی کلی به شکل‌های مختلف در تجهیزات انتقال حرارتی مشاهده می‌شود. در آب موجود در کندانسور و یا مواد چرخه آب در برج‌های خنک‌کننده به شکل فرسودگی کلی سطوح فلزی با تجمع زنگار و یا محصولات خوردگی در لوله‌کشی و مخازن آبی مشاهده می‌شود.

در لوله‌های مسی کندانسور معمولا به صورت شیارهای سطحی یا باریک شدن یکنواخت جدار لوله‌های فلزی مشاهده می‌شود.

خوردگی کلی در دیگ‌ها به شکل پوسه شدن کلی سطح لوله‌های فلزی در تماس با آب موجود در دیگ دیده می‌شود (تصویر 12 و 13).

خوردگی کلی زمانی مشاهده می‌گردد که فرآیند فرسایشی و به طور یکنواخت بر کل سطح فلز تاثیر می‌گذارد و اثر آن نقطه‌ای یا منطقه‌ای نیست. این فرآیند غالبا و نه به طور معمول همراه با تجمع محصولات حاصل از خوردگی در روی سطح فلز است (تصویر 14).



تصویر (12): خوردگی کلی در لوله کندانسور





تصویر (13): خوردگی الکتروشیمیایی در لوله کندانسور



لوله A



لوله B

تصویر (14): خوردگی لوله دیگ

آهن و سایر فلزات بر اثر واکنش‌های الکتروشیمیایی تجزیه شده و تدریجا در آب حل می‌شوند. بنابراین محدود کردن خوردگی این فلزات با کاهش فعالیت یون‌های هیدروکسیل و هیدروژن، مثلا با ایجاد یک محیط خنثا، ضروری است. عامل مهم دیگر در فرآیند خوردگی انحلال اکسیژن است. احیای هیدروژن در این نوع واکنش‌ها سبب کاهش نرخ واکنش‌های خوردگی و در واقع در بسیاری از موارد جلوگیری از آن با تشکیل یک لایه بازدارنده بر روی سطح فلز است که از نظر فیزیکی فلز را در برابر تاثیرات آب محافظت می‌کند.

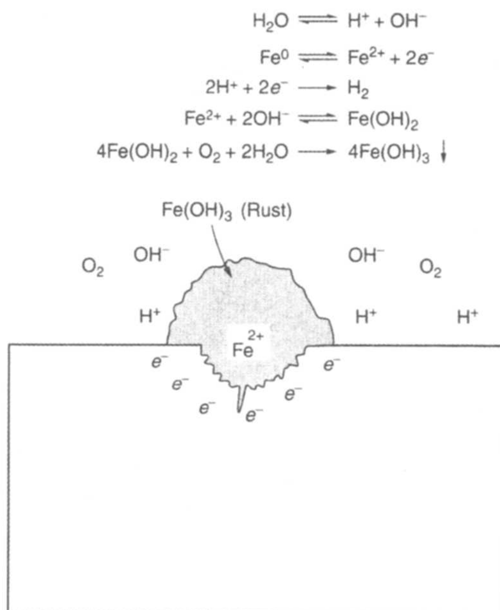
تجمع زنگار و محصولات حاصل از خوردگی با بیشتر شدن میزان اکسیژن در محلول افزایش می‌یابد. اکسیژن با فلز ترکیب شده و تولید اکسیدفلزی غیرقابل

انحلال می‌نماید و در مورد آهن رسوب ضخیم زنگار را تشکیل می‌دهد. از اینجایی که نقش اکسیژن در خوردگی بسیار مهم است، بنابراین دفع اکسیژن محلول به منظور جلوگیری از خوردگی، اقدام موثری است.

خوردگی الکتروشیمیایی

نـوع دوم خوردگی که معمـولا در تجهیزات انتقال حرارتی مشـاهده می‌گردد، خوردگی الکتروشیمیایی است. این فرآیند با شیارهای عمقی در مناطق کوچکی از فلز بدون تاثیرگذاری بر کل سطح آن مشخص می‌شود. خوردگی در مناطق خاصی از سطح فلز حادث شده و محصولات آن معمولا در یک فرورفتگی جمع می‌شوند. این تجمع به شکل برجستگی، گنبدی و یا دانه‌های برجسته مشابه تصویر (15) ظاهر می‌شود.

خوردگی الکتروشیمیایی ناشی از اکسیژن محلول است. این پدیده با سایر علت‌ها نظیر رسوب برجسته اجسام خارجی متفاوت است. مثال‌هایی در مورد برجستگی‌های نقطه‌ای ناشی از اکسیژن محلول در زیر آورده شده‌اند (تصویر 16 و 17).



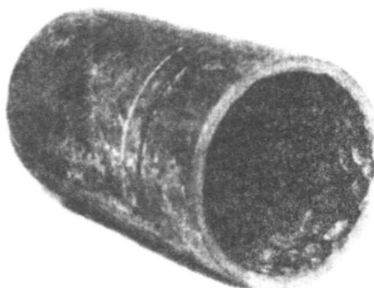
تصویر (15): واکنش تشکیل برجستگی‌های رسوبی



تصویر (16): خوردگی الکتروشیمیایی در لوله دیگ



تصویر (17): برجستگی‌های روی سطح لوله دیگ



تصویر (18): برجستگی‌های روی لوله آب تغذیه دیگ

خوردگی الکتروشیمیایی در سیستم دیگ‌های بخار که در آن‌ها آب رها شده محتوی اکسیژن محلول است، مشاهده می‌شود. برجستگی‌ها در لوله‌های دیگ مستقر در مجاورت ورودی آب رها شده و یا در کل خط آب رها شده از دیگ مشاهده می‌شوند. یکی از اشکال خوردگی الکتروشیمیایی معمولا در خط آب رها شده دیگ و همراه با دی‌اریتور[1] است. به اشتباه این‌طور انتظار می‌رود که آب رها شده به صورت مکانیکی در دی‌اریتور به طور کامل از خوردگی الکتروشیمیایی جلوگیری می‌کند. اما کاملا برعکس این انتظار، آبی که محتوی تراکم‌های ناچیز اکسیژن محلول است، معمولا دارای خاصیت خورندگی بیشتر از آب‌های همراه با تراکم‌های بالای اکسیژن

1. Deaerator

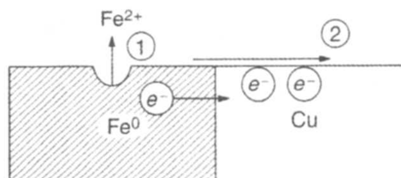
اســت. این مورد با تشکل خوردگی الکتروشــیمیایی در خطوط حامل آب رها شده محتوی آب دی‌اریتور مشخص می‌شود.

دی‌اریتورهای مکانیکی کارآیی کامل ندارند و هیچ‌کدام از آن‌ها آب بدون اکسیژن محلول تولید نمی‌کنند. کمترین میزان اکسیژن محلول حاصل از دی‌اریتورها معادل 0.0005 سانتی‌متر مکعب در لیتر است. این مقدار ناچیز اکسیژن حل شده برای ایجاد خوردگی‌های شدید در خطوط آب رها شده و یا لوله‌های دیگ در نزدیکی ورودی آب رها شده، کافی است. این نوع خوردگی با سوراخ‌های عمیقی که بر روی سطح داخلی لوله پراکنده هستند و همراه بودن با مقدار کم یا هیچ‌گونه تجمع محصولات خوردگی یا زنگار، مشخص می‌شود، زیرا مقدار اکسیژن موجود در محیط لوله برای ایجاد زنگار اکسیدآهن کافی نیست.

خوردگی گالوانیکی

خوردگــی بر اثر تماس دو فلز مختلف در درون آب ایجاد می‌شــود. با تماس دو فلز، مشــابه آن‌چه در باتری‌ها اتفاق می‌افتد، جریان الکتریکی تولید می‌شود. فلزی که در انحلال با آب فعال‌تر است (بر اثر جریان الکترون‌ها) بیش از فلزهایی که کمتر انحلال‌پذیر هستند، می‌تواند جریان الکتریکی تولید کند. یک کوپل آهن و مس مشابه تصویر (19)، جریان الکتریکی ایجاد می‌کند.

تمایل فلز به انتشار الکترون و هدایت آن به درون محلول «پتانسیل الکترودی» نامیده می‌شــود. این پتانسیل در فلزات متفاوت اســت، زیرا واکنش‌های انحلال و ترکیب مواد محیط اطراف در فلزهای مختلف تفاوت دارند.



تصویر (19): خوردگی گالوانیکی ناشی از کوپل دو فلز مختلف. (1) آهن بر اثر انحلال با آب 2 الکترون از دست می‌دهد: $Fe^{0} \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-1}$. (2) الکترون‌ها به طرف مس که کمتر فعال است جاری می‌شوند

در خوردگی گالوانیکی که به خوردگی فلزی غیرمشابه معروف است، وجود چهار عامل ضروری است:

1. فلز فعال‌تر یا آند.
2. فلز کمتر فعال یا کاتد.
3. محیط آب دربرگیرنده دو فلز یا الکترولیت.
4. تماس بین دو فلز برای هدایت آسان‌تر جریان الکترون.

میزان خوردگی گالوانیکی به شدت وابسته به اختلاف پتانسیل بین دو فلز غیرمشابه است. در صفحه بعد، قدرت فعال بودن گالوانیکی فلزات فهرست شده است، به طوری که فعال‌ترین فلز در بالای فهرست و فلزی که کمترین فعالیت گالوانیکی را دارد در آخر فهرست آورده شده است. در این فهرست هرچقدر که دو فلز از یکدیگر دور باشند، فعالیت گالوانیکی بین آن‌ها شدیدتر و بدین ترتیب فلز آند سریع‌تر خورده می‌شود. مجموعه طبقه‌بندی شده فلزات از نظر فعالیت گالوانیکی در جدول (6) نشان داده شده‌اند.

جدول (6): مجموعه‌های گالوانیکی

انتهای خورده شده (آندی، یا کمتر نجیب)[1]
آلیاژهای منیزیم (1)
روی (1)
برلیم
آلیاژهای آلومینیم (1)
کادمیوم
فولاد نرم، آهن چکش‌خور
چدن، پوسته یا چدن نرم
آهن کم‌آلیاژ پرمقاومت
نیکل پرمقاومت نوع 1 و 2
مفرع بحری (CA464)، مفرغ زرد (CA268)، مفرغ آلومینیم‌دار (CA687)، مفرغ سرخ (CA230)، مفرغ دریاداری (CA443)، مفرغ منگنزدار
قلع
مس (CA102/110)، مفرغ سیلیس‌دار (CA655).
آلیاژ سرب و قلع

ادامه جدول (6): مجموعه‌های گالوانیکی

مفرغ قلع‌دار (جی اندام).
فولاد ضدزنگ، %14-12 کروم (نوع 410 ،AISI 416)
آلیاژ نیکل نقره (CA 732، 735، 745، 752، 764، 770، 794)
آلیاژ مس نیکل (Ca706) 90/10
آلیاژ مس نیکل (CA710) 80/20
فولاد ضدزنگ، %18-16 کروم (نوع AISI 430)
سرب
آلیاژ سرب نیکل (CA715) 70/30
مفرغ نیکل آلومینیم
آلیاژ انیکونل 600
آلیاژهای نقره پرحرارت
نیکل 200
نقره
فولاد ضدزنگ، 18 کروم، 8 نیکل (نوع 347 ،321 ،304 ،AISI 302)
آلیاژهای مونل 400 ،k-500
فولاد ضدزنگ، 18 کروم، 12 نیکل مولیبیدان (نوع 317 ،AISI 316)
آلیاژ انیکولوی 825، فولاد ضدزنگ کارپنتر 20 کد 825
آلیاژ انیکولوی تیتانیم هاستلویز C276، C
گرافیت، چدن گرافیتی
انتهای مقاوم (کاتدی، ترکیب بیشتر نجیب)

1. Noble Metal: محصولات خوردگی ترکیبات نجیب با تغییر کمی در انرژی آزاد همراه است. فلزات نجیب قابلیت ترکیب با اکسیژن کمتری دارند.

هرگاه یکی از این عوامل ضروری حذف شود، واکنش‌های خورندگی انجام نمی‌شود و میزان خوردگی کاهش شدید روبه‌رو یا متوقف می‌شود.

یکی از روش‌های جلوگیری از این نوع خوردگی، اجتناب از تماس دو فلز غیرمشابه در تجهیزات تهویه با استفاده از کوپلینگ‌های عایق یا بست‌هایی مانند کوپلینگ دوفلزی است که مانع از جریان الکترون از یک فلز به دیگری می‌شود. سایر روش‌های جلوگیری شامل دفع اکسیژن محلول و استفاده از پوشش‌های محافظ و بازدارنده هستند که با اعمال آن‌ها، مانعی بین فلز خورنده و محیط اطراف ایجاد می‌گردد.

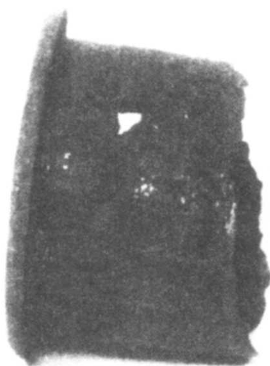
خوردگی سلول غلظت

خوردگی سلول غلظت نوعی خوردگی الکتروشیمیایی است که به جای تاثیر کلی، اثرات نقطه‌ای و منطقه‌ای دارد. این پدیده معمولا خوردگی رسوبی یا خوردگی حفره‌ای نامیده می‌شود، زیرا این نوع خوردگی در زیر رسوب‌ها و یا حفره‌های محل اتصال فلزی ایجاد می‌شود. رسوب اجسام خارجی، آلودگی‌ها، مواد آلی، محصولات خوردگی، جرم‌ها یا هر ماده دیگری بر روی سطح فلز به علت عدم تشابه مواد در محیط روی سطح فلزات می‌تواند منشا یک واکنش خورندگی باشند. این عدم تشابه مواد ممکن است تفاوت تراکم‌های یونی یا اکسیژن محلول باشد.

در فرآیند خوردگی سلول غلظت، واکنش خورندگی مشابه خوردگی گالوانیکی فعال می‌شود زیرا عدم تشابه مواد نیز اختلاف پتانسیل الکترودی ایجاد می‌کند. ایجاد سطوح پاک و تمیز بهترین روش جلوگیری از این نوع خوردگی است.

خوردگی تنشی

خوردگی تنشی فرآیند ترکیبی از قرار گرفتن فلز در محیط فرساینده و اعمال فشار بر آن است. این پدیده معمولا در لوله‌های چگالنده و دیگ در مناطقی که لوله‌ها در صفحه‌ها لفاف شده‌اند، مشاهده می‌شود. در دیگ‌های بخار، خوردگی تنشی را «خم و شیار» می‌نامند. این خوردگی مشابه یک خمش محیطی در پیرامون لوله حرارتی در محل ورود به صفحه لوله‌ای مشاهده می‌شود. تصویر (20) این نوع خوردگی را نشان می‌دهد.



تصویر (20): خم و شیار در لوله حرارتی دیگ

نقص خوردگی ناشـــی از محیط فرســـاینده و تنش‌ها و فشـــارهای وارده بر نقطه خوردگی است. معمولا خوردگی در گرم‌ترین انتهای لوله در شروع جدا شدن از دیوار تشکیل می‌شود. خوردگی در انتهای لوله متمرکز می‌شود زیرا این منطقه از هر طرف دو منبع تحت فشار است. نخست با خم شدن لوله به فلز فشار وارد می‌شود و برای استقرار آن در صفحه لوله‌ای، تحت نیروی انبساطی قرار می‌گیرد. در وهله دوم، وقتی دیگ روشن است، حرارت سبب انبساط سریع لوله شده و در اینجا بیشترین فشار به دو انتهای لوله که در صفحه لوله‌ای محکم شده است، وارد می‌شود. در واقع سبب پیچش و خمش لوله می‌شود که در بعضی مواقع فشارها به قدری شدید هستند که لوله‌ها در صفحه لق می‌شوند. با خم شدن لوله، لایه اکسیدآهن که به طور طبیعی برای محافظت آن تشـــکیل شده است، پوسته و یا ترک‌خورده می‌شود و فولاد بدون محافظ زیر لایه پوششی در معرض خوردگی بیشتر قرار می‌گیرد. و در نهایت به هر دو علت خوردگی و فشار لوله معیوب می‌شود.

خوردگی تنشـــی بر اثر انبســـاط حرارتی و به علت این‌که این انبساط سبب وارد آمدن فشار به بست و صفحه لوله است، در لوله‌های چگالنده و مبدل حرارتی ایجاد می‌شود. این مشکل با اعمال تدریجی حرارت در دیگ که سبب تغییرات تدریجی دما می‌شود و همچنین استفاده از بازدارنده‌های مناسب برای مطلوب کردن محیط عمل، کاهش می‌یابد.

خوردگی رفتگی

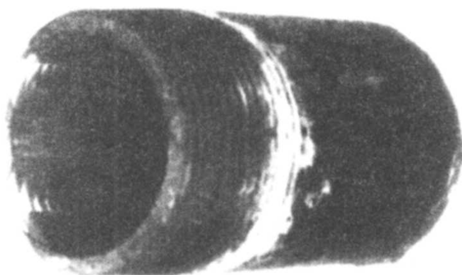
خوردگی رفتگی عبارت از فرســـودگی تدریجی ســـطح فلز ناشـــی از اصطکاک و خوردگی است. این پدیده خوردگی ضمنی نیز نامیده می‌شود.

آب که با ســـرعت درون لوله‌ها جریان دارد می‌تواند محتوی حباب، مواد معلق، شـــن یا سایر ذرات سخت جامد باشد. این مواد خارجی در آب برج‌های خنک‌کننده که در معرض هوای جو بوده و ذرات را در خود نگه می‌دارند، بســـیار معمول اســـت. این ذرات ساینده پوشش‌های اکسید طبیعی که محافظ سطوح فلز هستند را از بین می‌برند و خوردگی کلی در فلزات در تماس با آب ایجاد می‌کنند. هرچه سرعت جریان آب بیشتر باشد میزان خوردگی رفتگی بیشتر می‌شود.

خوردگی چگالیده

خوردگی چگالیده، پدیده ذره‌ای مرتبط با فرسایش خط چگالیده بخار در تجهیزات تهویه است. این پدیده در خطوط لوله بخار چگالیده در کلیه تجهیزات تبادل گرمایی، کندانسورهای توربین بخار، واحدهای گرم‌کن، کندانسورهای جذب سطحی بخار، رادیاتورها و یا هر دستگاهی که از بخار به عنوان محیط واسطه تبادل حرارتی استفاده می‌کند، مشاهده می‌شود.

خوردگی شیاری چگالیده تاثیر شیمیایی مستقیم بخار چگالیده بر بدنه فلزی مجرای عبور آن است و عموما همراه با شیارهایی در کف لوله هدایت چگالیده مشاهده می‌شود. این نوع خوردگی در تصویر (21) نشان داده شده است. دی‌اکسیدکربن عامل اصلی خوردگی شیاری چگالیده است زیرا دی‌اکسیدکربن حل شده تولیدکننده اسیدکربنیک ضعیفی است. روش جلوگیری از این نوع خوردگی شامل دفع نمک‌های قلیایی کربنات و بی‌کربنات‌دار از آب دیگ (قلیازدایی) و استفاده از خنثاکننده اسیدکربنیک و پوشش‌های بازدارنده است.



تصویر (21): خوردگی در خط انتقال چگالیده بخار

خوردگی میکروبیولوژیکی

از اوایل دهه 1980، پدیده خوردگی میکروبیولوژیکی[1] به مشکل بسیار جدی در سیستم‌های تهویه مطبوع با جریان آب برگشتی در ساختمان‌ها تبدیل شد. خوردگی بیولوژیکی اصطلاحی است که به نوعی از خوردگی تخصیص داده شده است که

1. Microbiologically Influenced Corrosion (MIC)

$$LSI = pH - pH_S = 7.7 - 8.2 = -0.5$$

و با در نظر گرفتن این شاخص و مراجعه به جدول (8) نتیجه می‌شود که منبع آب کمی خورندگی دارد و بنابراین خاصیت تشکیل جرم را ندارد. در واقع، شرایط «منطقه بدون قطعیت» است که در آن شرایط نشانه واضحی از تشکیل جرم یا خوردگی مشاهده نمی‌شود و هر دو پدیده بدون برتری قابل توجه نسبت به یکدیگر وجود دارند. عموما منطقه عدم قطعیت در شاخص LSI مقادیر 0.5- تا 0.5+ را دربرمی‌گیرد. تمایل زیاد برای تشکیل جرم با میزان 3.0 + و تمایل به خورندگی با میزان 3.0 − نشان داده شده است.

برای شناخت بیشتر این آب شاخص رایزنر (SI) را می‌توان به روش زیر محاسبه کرد:

$$SI = 2(pH_S) - pH = 16.4 - 7.7 = -8.7$$

بر طبق جدول (8)، این منبع آب دارای ویژگی «بسیار خورنده» است. شاخص رایزنر از نظر کمی نشان می‌دهد که میزان خوردگی بیش از حد قابل پیش‌بینی کیفیتی توسط شاخص لانگلیر است.

در عمل شاخص رایزنر در مقایسه با شاخص لانگلیر «بدترین حالت» را ارائه می‌دهد (جدول 9 را ملاحظه کنید) و دامنه تغییرات آن از 3.0 + (به شدت جرم‌ساز) تا 11+ یا 12+ (به شدت خورنده) است. بنابراین در آزمایش آب منبع اغلب، هر دو شاخص لانگلیر و رایزنر برای تعیین تمایل به تشکیل جرم و خوردگی به‌کار گرفته می‌شوند.

در سیستم‌های آب‌رسانی با کندانسور برج خنک‌کننده، مقدار ثابتی مواد معدنی بر اثر تبخیر آب خالص نظیر آب مقطر انبوه شده و تشکیل‌دهنده آب همراه با انواع ناخالصی‌های معدنی است. بنابراین در این سیستم‌ها مقدار pH، تمرکز سختی، میزان کل جامدات محلول و قلیایی بودن به طور دائم تغییر می‌کنند و مطالعه و بررسی به‌کمک شاخص‌های لانگلیر و رایزنر را نسبتا پیچیده می‌کنند و دقت روش را کاهش می‌دهند این شاخص‌ها، معیارهای مفیدی هستند اما سایر شاخص‌ها مانند کنترل‌های توازن جرم کل مواد معدنی ورودی آب منبع نیز باید به‌کار گرفته شوند؛ در مقایسه با کل مواد معدنی خروجی (حاصل از بلید آب).

طـی آن گونه‌های میکروبیولوژیکی با فلزات واکنش شـیمیایی انجام می‌دهند. این خوردگی ناشی از ارگانیسم‌های میکروبیولوژیک یا تکثیر مواد آلی بر روی فلزات است. اشـکال مختلفی از مکانیسـم خوردگی میکروبیولوژیکی با عاملیت گونه‌های متنوع ارگانیسم‌های میکروبیوژیکی وجود دارند.

علل اساسی خوردگی میکروبیولوژیکی در سیستم‌های تهویه با جریان آب برگشتی عبارتند از:

- باکتری‌های وابسته به آهن[1]
- باکتری‌های کاهنده سولفات[2]
- باکتری‌های مولد اسید[3]
- رسوب‌های بیولوژیکی[4]

باکتری‌های وابسته به آهن. گروه عمده‌ای از ارگانیسم‌ها مانند گالیونلا فروژین[5] و فروباسـیل اس‌پی[6]، که عامل مسـتقیم خوردگی آهن و فولاد در سیسـتم‌های با جریان آب برگشـتی هسـتند را باکتری‌های وابسـته به آهن می‌نامند. این دسته از ارگانیسم‌ها با هضم مستقیم آهن، عامل خوردگی فلزات آهن و فولاد هستند. بعضی از این ارگانیسم‌ها در فرآیند سوخت‌وساز حیاتی خود، آهن مصرف می‌کنند و سپس پسـماند این فرآیند به صورت ترشح مواد مخاطی محتوی هیدروکسید هیدراته آهن دفع می‌شـود. باکتری‌های آهن عموما در کلیه سیستم‌های خنک‌کننده به ویژه در مناطقی که جریان قوی نیست، وجود دارند.

باکتری‌های کاهنده سولفات. مشخص‌ترین گروه از ارگانیسم‌های موجود در فرآیند خوردگی بیولوژیکی، باکتری‌های کاهنده سولفات است. این گروه از ارگانیسم‌ها اصولا به سه دسته تقسیم می‌شوند: ارگانیسـم‌های دی‌سولفوویبرو[7]، دی‌سولفوماکولوم[8]، دی‌سـولفوموناس[9]، که همگی آن‌ها به اشکال مختلف در فرآیند سوخت‌وساز حیاتی

---

1. *Iron-related Bacteria (IRB)*
2. *Sulfate-reducing Bacteria (SRB)*
3. *Acid-producing Bacteria (APB)*
4. *Biological Deposits (BD)*
.5 *Gallionella Ferrugine*
6. *Ferrobacillus sp.*
7. *Desulfovibrio*
8. *Desulfotomaculum*
9. *Desulfomonas*

جرم‌های دیگ

تشکیل جرم در دیگ‌ها به طور مستقیم ناشی از ته‌نشین شدن کلسیم، منیزیم، آهن و مواد معدنی سیلیکا موجود در آب منبع تغذیه دیگ هستند. با از بین بردن بخشی از مواد تشکیل‌دهنده جرم‌ها قبل از ورود آب به دیگ به وسیله تجهیزات سختی‌گیر خارجی یا در درون دیگ با روش‌های مربوط به آب داخل دیگ می‌توان از تشکیل جرم‌ها جلوگیری کرد.

یکی از مشکل‌سازترین رسوب‌هایی که معمولا برای پاک‌سازی آب در دیگ‌های بخار در نظر گرفته می‌شود رسوب‌های آهن و ترکیبات آهن و کلسیم یا فسفات هستند. این گل‌ولای رسوبی لزج و چسبناک بر اثر میزان بیش از حد آهن وارد شده به دیگ، همراه با آب ورودی است. آهن به شکل اکسید و یا محصولات خورنده کربنات آن وجود دارد. این مواد از محصولات خوردگی بخش‌های قبل از دیگ نظیر خطوط بخار و یا چگالیده، گیرنده‌های چگالیده، هواگیرها و خطوط ورودی دیگ، تولید می‌شوند.

به منظور جلوگیری از ایجاد جرم باید برنامه‌ریزی دقیقی در فرآیند پاک‌سازی آب برای اجتناب از معضل تولید گل‌ولای ته‌نشین انجام شود.

جرم‌های چگالیده

در سیستم‌های آبی کندانسوردار و برج خنک‌کننده با گردش آب در کاربردهای تهویه و چیلرهای سردکننده، جرم‌ها به طور مستقیم ناشی از ته‌نشین شدن کربنات، سولفات کلسیم یا مواد معدنی سیلیکا و متراکم شدن بیش از حد آن‌ها است به طوری که حلالیت یا pH اشباع شدن بیش از حد مجاز و مواد معدنی از محلول خارج می‌شود. جرم‌ها در این تجهیزات ممکن است محتوی اجسام خارجی نظیر محصولات خوردگی، مواد آلی و گل‌ولای نیز باشند. این‌گونه مواد به‌جای رسوب، جرم نامیده می‌شوند. بنابراین، فرآیند آماده‌سازی آب برای جلوگیری از تشکل رسوب‌های معدنی باید شامل رقیق کردن آب گردشی در سیستم به منظور پیش‌گیری از متمرکز شدن مواد معدنی به حد اشباع، کنترل pH برای اجتناب از رسیدن مقدار pH به میزان pH اشباع شدن کربنات کلسیم و فرآیندهای شیمیایی برای ممانعت و کنترل تشکل کریستال‌های رسوبی باشد.



تصویر (22): رسوب‌های درون لوله و محصولات خورندگی آهن

خود، گوگرد مصرف می‌کنند. کلیه باکتری‌ها بی‌هوازی[1] هستند (یعنی بدون اکسیژن حیات دارند). عمده‌ترین ارگانیسم از این انواع، دی‌سولفوویبرو است که در کلیه سیستم‌های خنک‌کننده به ویژه در مناطقی که روغن و یا گل‌ولای راکد شده، وجود دارد.

باکتری‌های مولد اسید. دسته دیگری از باکتری‌ها که عامل خوردگی بیولوژیکی هستند باکتری‌های مولد اسید هستند. انواع زیادی از این نوع باکتری‌ها وجود دارند که عمده‌ترین آن‌ها باکتری‌های تشکیل‌دهنده لای ته‌نشین مانند سودوموناس[2]، آئروباکتر[3] و باسیلوس[4] هستند و طی فرآیند سوخت‌وساز حیاتی خود، اسیدهای آلی مختلفی ترشح می‌کنند. اسیدهای آلی مانند اسیدفرمیک، اسیداستیک و اسیداگزالیک در گل‌ولای محتوی باکتری‌های مولداسید، شناسایی شده‌اند. این اسیدهای آلی در مناطقی شرایط pH پایین را ایجاد نموده که منجر به خوردگی در این مناطق می‌شود.

یکی از باکتری‌های مولد اسید که عامل ایجاد خوردگی بیولوژیکی است، تیوباسیلوس[5] است. این ارگانیسم، ترکیبات گوگرد را اکسید کرده و اسیدسولفوریک تولید می‌کند

1. *Anaerobic*
2. *Pseudomonas*
3. *Aerobacter*
4. *Bacillus*
5. *Thiobacillus*

رسوب‌ها

علاوه بر جرم‌ها، سایر مواد ته‌نشین نظیر گل، آشغال، پسماند، مواد خارجی و ارگانیسم‌های آلی، مشکل عادی و مداوم در سیستم‌های با آب برگشتی است. ته‌نشین شدن مواد خارجی سبب باریک شدن مجرای عبور می‌شود و در انتقال حرارتی و جرم‌آلود کردن سطوح درگیر در فرآیند انتقال تاثیر می‌گذارد و به تبع آن کاربری تجهیزات را کاهش داده و سبب مصرف بیش از حد انرژی در این تجهیزات می‌شود.

گل‌ولای، آشغال و گل‌رس

سیستم‌های برج خنک‌کننده با گردش آب در مدار باز بیش از سایر سیستم‌ها در معرض گل‌ولای، آشغال و ته‌نشین شدن مواد هستند. برج خنک‌کننده یک دستگاه شست‌وشوی طبیعی هوا است که در آن آب بر روی سطوحی افشانده شده و هوایی که به طور طبیعی و یا توسط یک فن در آن دمیده شده است، به وسیله آب برج شسته می‌شود.

وابسته به محل استقرار برج، هر نوع غبار هوازی و پسماندهای مختلف در سیستم آب گردشی باقی می‌ماند. این پسماندها از ذرات ریز تا گرده گیاهی، جلبک، عناصر گیاهی، برگ‌ها، شاخه درخت، علف، خاک و سنگریزه تشکیل می‌شوند. ذرات ریز غبار و آشغال‌های ذره‌ای تمایل به انبوه و کلوخه شدن در سیستم کندانسور آب به ویژه در مناطقی که گردش آب کم‌سرعت است، دارند. در سطوح مجاری انتقال حرارتی، غبار و آشغال به شکل گل‌ولای وحشتناک ته‌نشین و متراکم می‌شوند که تاثیر بسیار مخربی در کارآیی عملیاتی دارند.

رسوب گل‌ولای بسیار رایج است و از ذرات هوازی، محصولات خوردگی، پوسته و مواد آلی تشکیل می‌شوند. در موارد بسیار نادر می‌توان جرم‌ها را یک ترکیب تنها مشاهده کرد زیرا معمولا جرم‌ها ترکیبی مخلوط از مواد مذکور است.

در سیستم‌های آبی با گردش بسته، جرم‌ها متشکل از ترکیب‌هایی با تنوع کمتر نسبت به سیستم‌های مدار باز هستند، اما تشکل آن‌ها نیز مشکل جدی است. پسماندها در سیستم‌های بسته معمولا ناشی از ورود آشغال و خاک‌رس همراه با آب ورودی و یا ته‌نشین مواد ساختمانی هستند. یک شکستگی در مسیر خط آب

و این اسید خاصیت خورندگی شدیدی داشته و در نقاط زیرلایه رسوب‌ها خوردگی الکتروشیمیایی ایجاد می‌کند که منجر به سوراخ‌های بسیار ریز در خط لوله می‌شود.

رسوب‌های بیولوژیکی. ارگانیسم‌های تکثیرشونده دیگری نظیر جلبک‌ها، مخمرها، کپک‌ها و قارچ‌ها نیز می‌توانند همراه با گل‌ولای مملو از باکتری، خوردگی بیولوژیکی ایجاد کنند. حتا در مواقعی که یکی از ارگانیسم‌های خورنده متعلق به سه گروه بالا وجود ندارند، رسوب‌های بیولوژیکی با ایجاد سلول‌های غلظت در زیر رسوب‌ها می‌توانند محیط مناسبی برای ایجاد خوردگی به‌وجود آورند. این محیط پرورش با ترکیبات پیچیده که می‌تواند ناشی از انواع رسوب‌ها باشد، مولد قابلیت خورندگی بر روی سطوح فلزهای مجاور است.

برای کنترل خوردگی بیولوژیکی، شناخت فرآیندهای مسبب آن و یافتن راه‌های جلوگیری بر اساس شناسایی‌ها حایز اهمیت است. واضح است که یک برنامه پیگیری ضروری دربرگیرنده روش‌های کنترل کلیه انواع فرآیندهای رشد و تکثیر بیولوژیکی در سیستم‌های همراه با آب برگشتی است.

جرم‌ها و گل‌ولای

عمده‌ترین و پرهزینه‌ترین مشکل در تجهیزات تهویه، تشکل رسوب‌های جرمی است. هزینه بالای تشکل رسوب‌های جرمی ناشی از تداخل رسوب جرمی مواد معدنی آب با فرآیند انتقال حرارتی است.

رسوب‌های معدنی و رسوب‌های درون لوله

اکنون باید مابین رسوب‌های معدنی و رسوب‌های درون لوله تفاوت قائل شویم. رسوب‌های معدنی حاصل اشباع شدن بیش از حد و ته‌نشین شدن مواد معدنی است که به طور طبیعی در آب یعنی محیط واسطه انتقال حرارتی وجود دارند.

رسوب‌های درون لوله (تصویر 23) یا رسوب‌های آسیابی اصطلاحی است که در مورد تشکیل پوشش اکسیدآهن طبیعی یا محصولات خورندگی آهن در درون لوله به‌کار برده می‌شود (به‌ویژه پروژه‌های ساختمانی که لوله‌ها در کارگاه با عناصر دیگ تماس دارند). این رسوب‌ها به‌صورت پرک و یا پوسته ظاهر می‌شوند. جرم‌های معدنی در دیگ‌های بخار، مبدل‌های گرمایی و کندانسورها دارای کربنات‌کلسیم که ترکیبی با حداقل حلالیت در آب است. سایر ترکیبات جرم‌ها به ترتیب فراوانی

زیرزمینی می‌تواند مولد آشغال، ماسه و مواد آلی باشد که به درون سیستم نفوذ می‌کنند و منبع تولید جرم می‌شوند.

آب ورودی به سیستم که تیرگی غیرعادی و یا دارای مواد همراه با جریان است، معمولا در منبع و قبل از ورود به سیستم به روش لخته کردن، پاک‌سازی و یا فیلتراسیون آماده‌سازی می‌شود تا قابل استفاده شود. بنابراین مواد همراه با آب و مولد تیرگی رنگ در آب ورودی به سیستم‌های تهویه معمول نیستند زیرا آب سیستم‌های تهویه از منابع محلی و یا شهری تامین می‌گردد و اداره‌ای مسوول تامین آب شفاف و قابل آشامیدن است.

اما آب چاه‌ها، برکه‌ها و یا سایر منابع غیرعمومی نیز به منظور استفاده در سیستم‌های آبی با گردش مجدد و دیگ‌ها در دسترس هستند که باید این آب‌ها به دقت از نظر رنگ و مواد همراه مورد آزمایش قرار بگیرند. مواد ته‌نشین شده که با شفافیت آب اندازه‌گیری می‌شوند، باید بیش از مقدار حداکثر تیرگی رنگ تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست برای آب آشامیدن نباشد. اگر رنگ آب منبع بیش از حد مجاز تیره باشد، در این صورت یکی از فرآیندهای شفاف‌سازی نظیر لخته کردن، تثبیت، ته‌نشین‌ها، فیلتراسیون و یا تمیزکننده‌های دقیق به منظور دفع مواد همراه با آب و کاهش تیرگی آب به کمتر از حد مجاز باید اعمال شوند.

مشکل، معمولا با گل‌آلود شدن موقت و یا تصادفی آب مورد استفاده ناشی از مواد ته‌نشین شده مشاهده می‌شود. در مواقعی که اداره آب‌رسانی محلی اقدام به تمیزکاری بخشی از سیستم توزیع می‌کند و یا منابع جدید نصب می‌کند و یا زمانی‌که به دلیل اجرای عملیات ساختمانی و به طور موقت منابع مجاور قطع می‌شوند این وضعیت مشاهده می‌شود. این نوع فعالیت‌ها سبب ایجاد اشکال در منابع آب‌رسانی و نفوذ مواد ته‌نشین شده از لوله‌های مجاور و یا لوله‌کشی موقت به درون منبع آب می‌شود. این ته‌نشین اکثرا شامل محصولات خوردگی اکسیدآهن، آشغال، گل‌رس و یا لای هستند.

گل سیاه و جرم حاصل از نورد

یکی از رایج‌ترین و مشکل‌سازترین جرم‌ها در سیستم‌های بسته گل سیاه ایجاد



تصویر (23): رسوبات معدنی آب

عبارتند از سولفات‌کلسیم، کربنات منیزیم، آهن، سیلیکا و منگنز؛ در بعضی از جرم‌ها هیدروکسیدکلسیم، منیزیم و آهن همراه با فسفات این عناصر وجود دارند که فسفات‌ها و مواد قلیایی به عنوان بازدارنده خوردگی و تشکیل جرم به‌کار برده می‌شوند. گل‌ولای رسوبی فرم نرم‌تر جرم‌ها هستند و بر اثر واکنش بین مواد معدنی سخت با فسفات‌ها و مواد قلیایی یک ترکیب نرم و خمیرگونه تولید می‌کنند. در اکثر موارد، جرم‌ها دارای ترکیبات پیچیده‌ای از نمک‌های معدنی هستند زیرا جرم به مرور تشکیل شده و حاصل رسوب‌گذاری مواد مختلف به اشکال گوناگون هستند. علت عمده ایجاد رسوب‌های ایجاد جرم، حلالیت معکوس نمک‌های کلسیم و منیزیم در آب است. بسیاری از نمک‌ها و مواد قابل انحلال مانند نمک طعام و یا شکر در آب گرم بیش از آب سرد قابلیت حل شدن نشان می‌دهند. اما نمک‌های کلسیم و منیزیم قابلیت انحلال سریع‌تر و با مقادیر بیشتری در آب سرد نسبت به آب گرم دارند و این پدیده حلالیت معکوس است. این مشخصه منحصر به‌فرد عامل عمده مشکل ایجاد جرم‌های معدنی بر سطوح تجهیزات انتقال حرارتی در سیستم‌های تهویه است. با اطلاع از این ویژگی منحصر به‌فرد، علت تشکیل جرم‌های رسوبی معدنی در لوله‌های آبگرم، کندانسورها، دیگ‌ها و ... را درمی‌یابیم، زیرا که در این‌گونه تجهیزات، گرم‌ترین نقطه تماس با آب سطح درون لوله است.

در سیستم‌های چگالنده آبی که در آن‌ها از آب برگشتی برج خنک‌کننده یا آب تک مسیر استفاده می‌شود، دمای آب به مراتب کمتر از دمای سیستم‌های دیگ

شده از ذرات سیاه اکسیدآهن آهن‌ربایی است. این گل سیاه، نه تنها بر روی سطوح تجهیزات انتقال گرما باقی می‌ماند بلکه در مجاری عبوری، دستگاه‌های گرم‌کننده، فن‌کوئل‌ها و کوئل‌های خنک‌کننده، گرم‌کن مجدد و گرماساز در دستگاه‌های تهویه، چسبیده و آن‌ها را مسدود می‌کند.

دیواره درونی لوله‌های سیاه آهنی که در سیستم لوله‌کشی واحدهای با آب برگشتی به‌کار برده می‌شوند، به طور طبیعی پوشش محافظ از جنس اکسیدآهن دارد که به وسیله بازدارنده‌های روغنی از تماس مستقیم محفوظ نگه‌داشته می‌شوند تا در زمان ماندن در انبار و یا نصب از خوردگی لوله جلوگیری شود. این پوشش طبیعی اکسیدآهن پوسته حاصل از نورد نامیده می‌شود، این اصطلاح را می‌توان در مورد هر نوع پوسته و یا براده موجود در درون لوله به‌کار برد. این پوشش حاصل از مواد در زمان ساخت تاسیسات به علت ضربه، برش، کشش و عملیات اصلاحی غیرضروری متأثر و تخریب می‌شود. پس از پایان فعالیت‌های تاسیساتی سیستم پر از آب شده و یا تحت فشار آب قرار می‌گیرد و این جریان آب سبب شسته شدن پوسته حاصل از نورد و سایر پسماندهای زمان ساخت می‌شود. هر چند که شسته شدن مقداری از ذرات بسیار ریز اکسیدآهن آهن‌ربایی از روی سطوح آهنی ادامه می‌یابد و در بعضی موارد این فرآیند شسته شدن سال‌ها قبل از فروکش شدن استمرار دارد. چسبیده شدن براده‌های حاصل از نورد می‌تواند مشکل جدی ایجاد کند و در یک سیستم جدید با شست‌وشو و هدایت جریان شدید آب همراه با مواد شوینده با کف کم، به درون لوله این پسماندها کاهش می‌یابند. حتا پس از شست‌وشوی دقیق، کماکان دفع تدریجی جرم‌های حاصل از نورد مشاهده می‌شود.

رسوب‌های درون دیگ

در دیگ‌های بخار، جرم‌ها علاوه بر جرم‌های معدنی، دارای آلودگی‌های خارجی موجود در آب رها شده نیز هستند. این آلودگی‌ها شامل روغن، گل‌رس، آلودگی‌های ناشی از فرآیندها، پسماندهای ساختمانی در دیگ‌های تازه نصب شده و محصولات خوردگی آهن سیستم‌های بخار هستند. گل‌ولای و یا مواد چسبنده معمولا ناشی از مواد معدنی پوسته شده در ترکیب با اکسیدآهن حاصل از خوردگی و مواد شیمیایی، باقی‌مانده از تمیزکاری هستند. این جرم‌ها با استفاده از مواد

بخار یا آب‌گرم‌کن است. در این دماهای پایین بیشترین مقدار جرم‌های مواد معدنی تشکیل شده، در محلول باقی می‌مانند، اما فرآیند رسوب‌گذاری تمایل به ایجاد رسوب کربنات‌کلسیم در سطوح درگیر در روند انتقال حرارتی است زیرا در روی این سطوح دما افزایش کمی می‌یابد. عوامل اساسی ایجاد این گرایش در فرآیند رسوب‌گذاری عبارتند از:

- قلیایی بودن
- سختی
- pH
- مقدار کلی مواد حل شده
- دما

با بیشتر شدن میزان قلیایی بودن آب محتوی ذرات، مقدار بی‌کربنات یا کربنات افزایش می‌یابد. این مواد معدنی با اشباع شدن تدریجی، تمایل به خروج از دورن محلول دارند.

به همین ترتیب با بیشتر شدن تراکم سختی آب، تمایل نمک‌های کلسیم و سدیم به خروج از محلول افزایش می‌یابد. میزان pH منعکس‌کننده نسبت قلیایی بودن کربنات به بی‌کربنات است. هرچه pH بالاتر باشد، میزان کربنات آب بیشتر است. از اینجایی که کربنات‌کلسیم و منیزیم قابلیت انحلال کمتری نسبت به بی‌کربنات دارند، بنابراین با افزایش pH و مقدار کربنات، تمایل به رسوب شدن دارند. تاثیر این تمایل ایجاد کلیه مواد سخت محلول و دما نیز است. هرچه مواد سخت افزوده شوند، تمایل به تشکیل رسوب و قابلیت انحلال کمتر نیز افزایش می‌یابد و هرچه دما افزایش یابد، تمایل رسوب‌گذاری نمک‌های کلسیم و منیزیم به علت ویژگی انحلال معکوس افزایش می‌یابد.

شاخص اشباع لانگلیر[1]

شاخص لانگلیر نماد اشباع شدن کربنات‌کلسیم است که در تعیین تمایل آب به تشکیل جرم و خوردگی بسیار کارساز است. این شاخص بر اساس نظریه‌ای که طبق آن، آب متمایل به تشکیل جرم و رسوب‌گذاری یک لایه پوششی ضدخوردگی

1. *Langelier Saturation Index (LSI)*

تجزیه‌کننده پلیمری که از چسبیدن آن‌ها به سطوح محیط انتقال حرارت جلوگیری می‌کنند، کنترل می‌شوند. در دیگ‌های حرارتی، رایج‌ترین جرم‌ها علاوه بر پسماند به شکل گل‌ولای، روغن و گل‌رسی هستند. روغن از طریق نشت روان‌کننده‌های روغنی، پیش‌گرم‌کن‌هایی که سوخت روغنی دارند یا کوئل‌های حرارتی بخار در مخازن نگهداری سوخت روغنی، وارد دیگ می‌شود. وقتی‌که روغن وارد دیگ شد بر اثر فرآیند تعلیق در آب قلیایی دیگ، جوشان شده و کف ایجاد می‌کند. جوشان شدن حاصل تلاطم سطحی آب است که این پدیده می‌تواند با توجه به ایجاد اختلاف سطح گسترده دیگ را خاموش کند. علاوه بر این روغن درون لوله‌های گرم دیگ کربن آزاد می‌کند و این فرآیند کربن‌سازی نه تنها خوردگی شدید سلول تراکمی ایجاد می‌کند بلکه به دلیل افزایش بیش از حد گرما بر اثر لایه رسوبی کربن عایق‌ساز سبب تخریب لوله می‌شود. هرگاه روغن وارد دیگ شد، برای جلوگیری از مشکلات، باید فورا از محیط دیگ دفع شود. عمل دفع روغن معمولا با دماندن هوا با جریان شدید در دیگ و یا اغلب با «جوشاندن» آب دیگ همراه با یک شوینده قلیایی انجام می‌شود.

گل‌رس به مراتب کمتر در دیگ‌ها به صورت رسوب ظاهر می‌شود، اما این رسوب نیز بر روی سطوح درونی لوله پسماندهای عایق‌ساز تشکیل می‌دهد. گل‌رس از طریق آب ورودی که گل‌آلود و یا به علت ازدیاد ماده آلوم[1] آلوده شده است وارد سیستم می‌شود. آلوم به عنوان لخته‌کننده آلاینده‌ها در فرآیند شفاف‌سازی استفاده می‌شود. گل‌رس را می‌توان با مواد تجزیه‌کننده در فرآیند آماده‌سازی درون دیگ متلاشی کرد ولیکن آب ورودی باید قبل از استفاده به عنوان آب رها شده از درون دیگ، تمیز و بدون هرگونه تغییر رنگ باشد. در مواقعی که گل‌آلودگی و گل‌رس یک مشکل مقاوم هستند؛ فیلتراسیون آب رها شده از دیگ باید انجام شود.

پسماندهای ساختمانی

کلیه سیستم‌های نو در طول مدت ساخت تاسیسات، توسط مواد خارجی مختلف آلوده و جرم‌دار می‌شوند. در لوله‌کشی سیستم‌های تهویه و مبدل‌های حرارتی مشاهده یکی از مواردی نظیر: براده‌های جوشکاری، مهره‌های زاید، کیسه‌های کاغذی،

1. Alum

از کربنات‌کلسیم گرایش دارد و به تبع آن خوردگی کمتری دارد، پایه‌ریزی شده است. در نتیجه، آبی که تمایل به تشکیل جرم ندارد، حل‌کننده پوشش محافظ است و خاصیت خورندگی آن بیشتر است. البته این نظریه کاملا صادق نیست زیرا که عوامل دیگری در خورندگی دخالت دارند، اما به عنوان یک معیار ساده، این نظریه به‌وجود آورنده شاخص باارزشی در تمایل آب به تاثیرگذاری در فرآیندهای خوردگی و یا ایجاد جرم‌ها است.

در دهه 1950، اسکل نوردل برای تعیین فوری مقدار pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم و شاخص لانگلیر، پنج متغیر پایه‌ای را در یک نمودار ساده مرتب کرد. در این روش شاخص بر پایه pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم است.

مقدار pH اشباع شدن (یا «pH اشباع»، pH_S) کربنات‌کلسیم، عبارت است از مقدار نظری pH متعلق به هر آب محتوی ذرات شناور در صورتی‌که آن آب از کربنات‌کلسیم اشباع شده باشد. مثلا، در مواردی pH آب گردشی در سیستم‌ها تحت شرایط خاصی به میزان pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم نزدیک و یا حتا از آن میزان تجاوز می‌کند و در این صورت تمایل آب به تشکیل جرم‌های کربنات‌کلسیم است. اگر pH واقعی کمتر از pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم باشد، در این صورت تمایل آب به حل کردن مواد معدنی است که این آب خورنده است. بنابراین شاخص لانگلیر در آب گردشی با مقایسه pH واقعی با pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم در همان شرایط خاص تعیین می‌شود.

برای تعیین شاخص لانگلیر مقدار pH واقعی آب باید اندازه‌گیری شود و pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم نیز با معیار قلیایی بودن کلی، سختی، میزان کلی جامدات حل شده و دمای آب محاسبه شود. یک روش محاسبه سریع pH_S در مقدار آب سرد چاه‌ها و یا منابع آب شهری مورد استفاده در سیستم‌های خنک‌کننده یک‌طرفه و یا خدمات آب‌رسانی شهری استفاده می‌شود. دلیل این‌که این محاسبه سریع معتبر است این است که این نوع منابع آب معمولا دارای دمای ثابت [دمای بین 49 تا 57 درجه فارنهایت (10 تا 14 سانتی‌گراد)] و میزان کلی اجسام جامد حل شده (50 تا 300 میلی‌گرم در لیتر) ثابت هستند. اگر منبع آب دارای این مشخصات باشد، رابطه زیر می‌تواند به‌کار برده شود (جدول 27 را ملاحظه کنید).

$$pH_S \ @ \ 50°F\ (10°C) = 11.7 - (C + D)$$

پوشش‌های پلاستیکی، تشتک نوشابه، نوارهای مختلف، پسماند پوشش عایق‌کاری، شیشه و سایر پسماندهای ساختمانی دور از انتظار نیست.

علاوه بر پاک‌سازی پسماندهای ساختمانی از درون سیستم‌های تهویه قبل از راه‌اندازی آن باید سطوح فلزی نیز از روغن و جرم‌های حاصل از نورد که به طور طبیعی درون لوله به‌جا مانده‌اند، کاملا پاک‌سازی شوند. همان‌طور که نشان داده شده، روغن و جرم‌های حاصل از نورد می‌توانند شدیدا جرم‌ساز باشند و مجاری سیستم‌های بسته را مسدود کنند و اگر روغن در هنگام احتراق دیگ، کربن آزاد کند موجب تخریب لوله می‌شود. هر سیستم آبی با آب برگشتی که تازه نصب شود باید با شوینده‌ها و مواد تجزیه‌کننده کاملا تمیزکاری شود یا مشابه دیگ‌های بخار با ترکیبات قلیایی و حرارتی بیشتر برای اولین‌بار راه‌اندازی شود. این تمیزکاری اولیه اکثر جرم‌ها را از بین برده و از مشکلات عملیاتی جدی جلوگیری می‌کند.

رشد عوامل آلی

رشد عوامل آلی در تجهیزات تهویه معمولا در سیستم‌های آبی مدار باز نظیر برج‌های خنک‌کننده، هواشوها و کوئل‌های افشانه‌ای مشاهده می‌شود. در بعضی مواقع سیستم‌های بسته نیز به علت آلودگی‌های خارجی مبتلا به گل‌ولای ارگانیک می‌شوند. سیستم‌های مدار باز به طور مداوم در معرض هوای جوی و محیط اطراف هستند که این هوا نه تنها دارای گردوغبار است، بلکه محتوی مقادیر بی‌شماری ارگانیسم‌های میکروسکوپی و باکتری است. آب برج‌های خنک‌کننده به علت این‌که در معرض نور خورشید هستند در دمای بسیار مناسبی قرار دارد و علاوه بر این دارای گل‌ولای به عنوان محیط واسطه رشد و مواد تغذیه‌ای آلی و غیرآلی است و بنابراین محیط مناسبی برای رشد ارگانیسم‌های بیولوژیکی است.

به همین ترتیب، در تجهیزات شست‌وشوکننده هوا و کوئل‌های افشانه‌ای که گردوغبار را از جو می‌شویند. ارگانیسم‌های میکروسکوپی تجمع پیدا می‌کنند و به علت وجود شرایط مناسب در آب برگشتی این سیستم‌ها، تمایل به رشد در درون آن‌ها را دارند. ارگانیسم‌هایی که در این‌گونه سیستم‌ها رشد می‌کنند همواره دارای جلبک، قارچ و گل‌ولای باکتریایی هستند.

روش مشابه، در مورد منابع آب گرم با دمای 140 °F (60 °C)، رابطه محاسبه سریع pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم به ترتیب زیر انجام می‌شود:

$$pH_S \ @ \ 140°F \ (60°C) = 10.8 - (C + D)$$

پس از محاسبه pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم، شاخص لانگلیر از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$LSI = pH - pH_S$$

که در این رابطه pH عبارت است از pH واقعی اندازه‌گیری شده و pH_S نیز pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم است که مطابق جدول (7) محاسبه می‌شود. تصویر (24) را نیز می‌توان برای تعیین pH اشباع شدن به‌کار برد.

جدول (7): داده‌های مربوط به محاسبه pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم

A			*C*		*D*	
مقدار کل جامدات (mg/L)		*A*	**سختی کلسیم** (mg/L of $CaCo_3$)	*C*	**قلیایی بودن مواد معدنی** (mg/L of $CaCo_3$)	*D*
50–300		0.1				
400–1000		0.2	10–11	0.6	10–11	1.0
B			12–13	0.7	12–13	1.1
			14–17	0.8	14–17	1.2
			18–22	0.9	18–22	1.3
°F	(°C)	*B*	23–27	1.0	23–27	1.4
			28–34	1.1	28–35	1.5
32–34	(0–1.1)	2.6	35–43	1.2	36–44	1.6
36–42	(2.2–5.5)	2.5	44–55	1.3	45–55	1.7
44–48	(6.7–8.9)	2.4	56–69	1.4	56–69	1.8
50–56	(10.0–13.3)	2.3	70–87	1.5	70–88	1.9
58–62	(14.4–16.7)	2.2	88–110	1.6	89–110	2.0
64–70	(17.8–21.1)	2.1	111–138	1.7	111–139	2.1
72–80	(22.2–26.7)	2.0	139–174	1.8	140–176	2.2
82–88	(27.8–31.1)	1.9	175–220	1.9	177–220	2.3
90–98	(27.8–31.1)	1.8	230–270	2.0	230–270	2.4
100–110	(37.8–43.3)	1.7	280–340	2.1	280–350	2.5
112–122	(44.4–50.0)	1.6	350–430	2.2	360–440	2.6
124–132	(51.1–55.6)	1.5	440–550	2.3	450–550	2.7
134–142	(56.7–63.3)	1.4	560–690	2.4	560–690	2.8
148–160	(64.4–71.1)	1.3	700–870	2.5	700–880	2.9
162–178	(72.2–81.1)	1.2	800–1000	2.6	890–1000	3.0

$$pH_S = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$SI = pH - pH_S$$

اگر شاخص صفر باشد، آب از نظر شیمیایی متعادل است.
اگر شاخص مثبت باشد، آب تمایل به تشکیل جرم دارد.
اگر شاخص منفی باشد، آب تمایل به خورندگی دارد.

جلبک‌ها

جلبک‌ها ابتدایی‌ترین شکل حیات گیاهی هستند و همراه با قارچ‌ها تشکیل‌دهنده گیاهان پایه‌ای هستند. جلبک‌ها در سراسر جهان گسترده هستند و شکل‌های مختلف و متنوعی دارند. گونه‌هایی که در سیستم‌های آب گردشی مدار بازیافت می‌شوند عبارتند از: جلبک سبز آبی، جلبک سبز و جلبک قهوه‌ای و در این بین جلبک سبز آبی ساده‌ترین شکل گیاهان سبز است که فقط از یک سلول تشکیل شده و بنابراین تک‌یاخته نامیده می‌شود. جلبک‌های سبز فراوان‌ترین گونه جلبکی است که می‌تواند تک‌یاخته و یا چندسلولی باشند. جلبک‌های قهوه‌ای نیز متعدد هستند و ارگانیسم‌های گیاهی چندسلولی هستند.

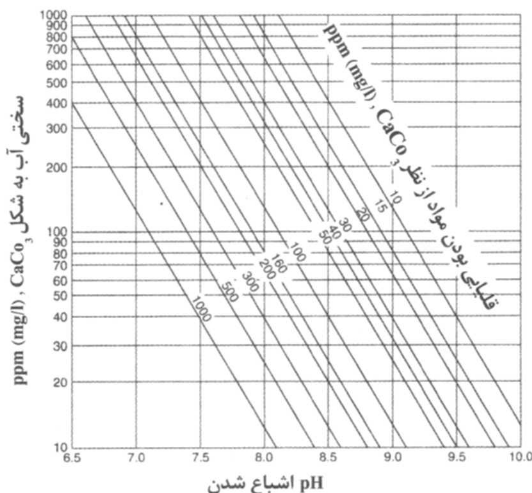
توده‌های متراکم جلبک‌ها می‌توانند با مسدود کردن مجرای هوا در برج خنک‌کننده، بستن مجرای صفحه‌ها و لوله‌های توزیع آب و تشدید فرسایش از طریق خوردگی سلول تراکمی و الکتروشیمیایی، مشکلات جدی ایجاد نمایند. جلبک‌ها را باید قبل از تمیزکاری به روش‌های فیزیکی از بین برد، زیرا توده جلبکی منبعی از مواد لازم برای تولید مجدد هستند و مواد شیمیایی دفع‌کننده آن‌ها فقط بر سطح روی توده تاثیر می‌گذارند و ارگانیسم‌های زنده در درون توده باقی مانده و مجددا رشد خواهند کرد.

قارچ‌ها

قارچ‌ها نیز گیاهان پایه و مشابه جلبک‌های تک‌یاخته و چندسلولی هستند. قارچ‌ها برای رشد و تکثیر به هوا، آب و کربوهیدرات‌ها نیاز دارند. منبع تامین کربوهیدرات می‌تواند هر ماده کربن‌داری باشد. قارچ‌ها و جلبک‌ها می‌توانند در کنار یکدیگر رشد کنند، بدین ترتیب که جلبک‌هایی که درون توده قارچ‌ها زندگی می‌کنند از یک محیط مرطوب و محافظت شده بهره‌مند می‌شوند و قارچ‌ها نیز کربوهیدرات مورد نیاز خود را از جلبک‌ها تامین می‌کنند.

باکتری‌ها

باکتری‌ها، ارگانیسم‌های زنده میکروسکوپی تک‌یاخته هستند که هر دو رفتار گیاهی و حیوانی را از خود نشان می‌دهند. این موجودات به شکل میله‌ای، مارپیچ و



تصویر (24): مقدار pH اشباع شدن آب در 49 تا 57 درجه فارنهایت (10 تا 14 درجه سانتی‌گراد) و مقدار کل جامدات محلول در آب 50 تا 300 میلی‌گرم در لیتر

شـاخص مثبت، میزان تمایل به ایجاد جرم‌ها را نشان می‌دهد و شاخص منفی گرایش به خوردگی را مشـخص می‌کند. راهنمای پیش‌بینی تمایل‌های دوگانه آب با استفاده از شاخص لانگلیر در جدول (8) آورده شده است.

جدول (8): پیش‌بینی تمایل آب با استفاده از شاخص لانگلیر

تمایل آب	شاخص اشباع شدن لانگلیر
تشکیل‌دهنده جرم و عملا غیرخورنده	2.0
کمی خورنده و تشکیل‌دهنده جرم	0.5
متعادل، اما امکان خورندگی الکتروشیمیایی وجود دارد	0.0
کمی خورنده و بدون خاصیت تشکیل جرم	–0.5
به شدت خورنده	–2.0

کروی مشاهده می‌شوند. چندین هزارگونه باکتری وجود دارند و کلیه سیستم‌های آبی دارای مقداری باکتری هستند. باکتری‌های مشکل‌ساز شامل باکتری‌های گل‌ولای، باکتری‌های آهن، باکتری‌های کاهنده سولفات و باکتری‌های بیماری‌زا هستند. کنترل باکتری‌ها با برنامه‌هایی که در آن‌ها از مواد دفع آفات استفاده می‌شود، اعمال می‌شود و به این فرآیندها دفع میکروبیولوژیکی[1] و یا به اختصار دفع بیولوژیکی[2] می‌گویند. انواع مختلف مواد دفع‌کننده وجود دارند که بعضی از آن‌ها اکسیداسیون ایجاد می‌کنند و برخی دیگر بدون ایجاد اکسیداسیون هستند.

باکتری‌های بیماری‌زا

باکتری‌های پاتوژنیک توانایی ایجاد بیماری دارند. آب برج خنک‌کننده، شرایط بسیار مناسبی برای رشد باکتری و سایر ارگانیسم‌ها را دارد و می‌تواند رشد باکتری‌های بیماری‌زایی را که منجر به بیماری‌های عفونی و حتا مرگ احتمالی (مثلا مواردی که ارگانیسم‌های لژیونلا رشد کرده و سبب بیماری‌های لژیونر می‌شود) است، تسریع نماید. در هر نقطه‌ای در سراسر جهان که در آن شرایط مناسب رشد (دما، pH و ...) فراهم باشد و تمیزکاری و نگهداری سیستم‌ها ضعیف باشند، رشد قابل توجه باکتری‌های بیماری‌زا در آب‌های برج خنک‌کننده مشاهده شده است. بنابراین، نگهداری این سیستم‌ها در شرایط تمیز و بدون آلاینده‌های باکتریایی به منظور جلوگیری از رشد باکتری‌های بیماری‌زا به اندازه جلوگیری از رشد باکتری‌های گل‌ولای و باکتری‌های خورنده حایز اهمیت است. کلیه سیستم‌های خنک‌کننده باید تخلیه شده، تمیزکاری شوند و حداقل دوبار در طول 12 ماه بدون توجه به این‌که سیستم فقط تابستان و یا در تمام طول سال فعال است، باید ضدعفونی شوند. علاوه بر نگهداری مناسب، باید برنامه بازبینی اجرا شود و کلیه سوابق بررسی و بازبینی بایگانی شوند. در اغلب اوقات یک برنامه پیشگیری‌کننده اولیه قبل از شروع به‌کار برج تازه نصب شده یا برج زمستانی و یا در مواردی که طراحی و یا موقعیت استقرار سیستم مورد تردید است (مثلا دفع ضعیف مواد خروجی یا برج در موقعیت بسیار نزدیک به سیستم مکنده هوای تازه ورودی قرار دارد) الزامی است.

---

1. Microbiocide
2. Biocide

شاخص رایزنر (شاخص ثبات رایزنر)[1]

معیار مفید دیگری برای تعیین تمایل دوگانه آب، شاخص رایزنر است. این شاخص نیز بر اساس pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم محاسبه می‌شود و علاوه بر تعیین گرایش فن‌آوری آب معیار دقیقی در تشخیص گستردگی تشکیل جرم‌ها و خوردگی نیز است. مقدار آن از در نظر گرفتن شاخص لانگلیر در مشاهده شرایط واقعی آب خنک‌کننده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Ryznar Index} = 2(pH_S) - pH$$

که در این رابطه، pH_S عبارت است از pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم که طبق جدول (7) محاسبه می‌شود و pH معادل pH واقعی اندازه‌گیری شده آب است.

جدول (9) را می‌توان برای تعیین تمایل و حدود خوردگی یا تشکیل جرم‌ها آب به کمک شاخص رایزنر به‌کار برد.

جدول (9): پیش‌بینی تمایل رفتاری آب به وسیله شاخص رایزنر

تمایل آب	شاخص ثبات رایزنر
جرم‌سازی شدید	4.0–5.0
جرم‌سازی سبک	5.0–6.0
جرم یا خوردگی کم	6.0–7.0
خوردگی قابل توجه	7.0–7.5
خوردگی شدید	7.5–9.0
خوردگی غیرقابل تحمل	9.0+

منبع: کتاب راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش 5. «تامین آب»

اکنون نحوه استفاده از این شاخص‌ها را در مورد منبع آب خاصی بررسی می‌کنیم. تصویر (8) نمایش‌دهنده گزارش تجزیه منبع تامین آب شهر واشنگتن است. شاخص اشباع لانگلیر در دمای 50 °F (10 °C) با استفاده از داده‌های تحلیلی نشان داده شده در جدول (7) به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\begin{aligned} pH_S &= 9.3 + A + B - (C + D) \\ &= 9.3 + 0.1 + 2.3 - (1.8 + 2.0) \\ &= 8.2 \end{aligned}$$

1. *Ryznar Index (SI)*

بیماری لژیونر[1] و تب پونتیاک[2]

این بیماری‌ها هر دو از باکتری لژیونلوسیس[3] ناشی می‌شوند و افراد حساس را با تنفس سروتایپ‌ها (گونه‌های مختلف) یا باسیل‌های گرام منفی[4]، لژیونلا نموفیلا[5] و سایر تیره‌ها و گونه‌ها مبتلا می‌کند. نحوه انتقال معمولا از طریق قطره‌های آب محتوی ارگانیسم است.

سیستم‌های خنک‌کننده دارای برج‌های روباز با آب برگشتی و یا کندانسورهای تبخیری و مجهز به سایر تجهیزاتی که توانایی تولید آئروسل‌های آبی را دارند و به شیوه‌ای مناسب طراحی، تمیزکاری و یا نگهداری نشده‌اند، به آسانی شرایط مناسب رشد و انتقال را فراهم می‌کنند. ارگانیسم‌ها در منبع آب آشامیدنی ساختمان و سیستم توزیع آن مانند مخزن آب گرم، به ویژه آن دسته مخازنی که ذخیره آب گرم و آب سرد مصرفی را طبقه‌بندی می‌کنند و همچنین در حمام‌های درمانی، استخرهای هیدروتراپی و سایر اماکن نظیر این موقعیت‌ها یافت شده‌اند.

لژیونلوسیس نوعی باکتری ذات‌الریه است. این باکتری نخستین بار پس از قرارداد لژیونری امریکا در سال 1976 در پنسیلوانیا پس از ابتلای 200 نفر و مرگ 34 نفر از مبتلایان شناسایی شد. گونه‌ای از این باکتری که علت بیماری است موسوم به لژیونلا نموفیلا سروتایپ 1 است که بیشترین توان بیماری‌زایی را دارد.

بیماری لژیونر. معمولا بیماری «فرصت‌طلب» تلقی می‌شود زیرا اغلب به افرادی که بیماری نهان دارند و یا سیستم ایمنی بدن آن‌ها ضعیف است حمله می‌کند. اعمال کنترل مناسب بر سیستم‌های خنک‌کننده در بیمارستان‌ها و یا سایر اماکن درمانی بسیار مهم است و خطر ابتلا به بیماری عفونی را کنترل می‌کند. بیماری لژیونر با تب بالا، احساس سرما، سردرد و درد عضلانی شروع می‌شود. سپس با سرفه‌های خشک پیشرفت کرده و در این مرحله بیماران از مشکلات تنفسی رنج می‌برند. یک سوم از بیماران همراه با اسهال و استفراغ هستند و نیمی از آن‌ها حالت گیجی و هذیان‌گویی دارند (در شیوع بیماری معمولا حدود 20 درصد مرگ و میر دارد). هر

---

1. Legionnaires> Disease
2. Pontiac Fever
3. Legionellosis
4. Gram-negative Bacilli
5. Legionella Pneumophila

چند که در بسیاری از موارد معالجه کامل انجام می‌گیرد، اما بعضی از مبتلایان ممکن است علایم درازمدت بیماری را داشته باشند. اگر در مراحل اولیه بیماری تشخیص داده شـــود، مریض با اســـتفاده از آنتی‌بیوتیک درمان می‌شود. بیماری لژیونر بیش از آنکه تصور می‌شود رواج دارد و با وجود تلاش‌های زیاد در تمیز نگه‌داشتن و مراقبت از سیستم‌های آبی، هنوز ارگانیسم بیماری‌زا در همه جا حضور دارد و هرساله موارد زیادی از بیماری لژیونر مشاهده می‌شود. متاسفانه اکثر موارد تشخیص داده نمی‌شود و به این علت شهرت عمومی ندارد.

تب پونتیاک. باکتری لژیونلا می‌تواند اشکال دیگری از بیماری لژیونلوسیوس مانند تـــب پونتیاک که یک بیماری کوتاه‌مدت، محدود، بـــا علایم آنفولانزا و بدون عواقب درازمدت اســـت، ایجاد نماید. بیماری تب پونتیاک به ســـرعت پیشـــرفت می‌کند (5 ســـاعت تا 3 روز) و به مدت 3 تا 5 روز طول می‌کشـــد (نرخ ابتلای بالا دارد و معمولا 95 درصد). بیماری موجب ســـردرد، تهوع، استفراغ، درد ماهیچه‌ها و سرفه می‌شود ولیکن پیشرفت مشابه ذات‌الریه ندارد.

تشـــکل آئروســـل‌ها عواقب عملکرد عادی کلیه کندانسورهای تبخیری، برج‌های خنک‌کننده و تجهیزات محلی آماده‌سازی آب مانند دوش / اسپری است. باکتری‌های پراکنده شده توسط این روش‌ها به شکل آئروسل‌ها، ممکن است وارد مجرای تنفس انســـان شـــده و خطر ابتلا را افزایش دهنـــد. در این مورد بیمـــاری و یا مرگ و میر معمولا قابل پیشگیری هستند زیرا تشکل آئروسل وابسته به ضعف طراحی سیستم آب، تاسیســـات، نگهداری و مدیریت است. هر چند که باید اظهار نمود که هیچ‌گونه شواهدی وجود ندارد دال بر این‌که مدیریت صحیح و نگهداری مناسب سیستم‌های خنک‌کننـــده می‌تواند هرگونه خطر ابتلا به لژیونلوســـیس را برطـــرف نمایند. پیامد وضع مقررات کنترلی برای ارگانیســـم‌های لژیونلا در سیستم‌های خنک‌کننده و سایر سیســـتم‌های آبی (و جرایم تخلف از این مقررات) سبب شده است که کنترل لژیونلا یکی از موارد بســـیار قابل ملاحظه برای مهندســـان، مدیران مراکز آماده‌سازی آب و مدیریت صنایع آب شود.

تجهیزات فراهم‌سازی

قبل از آماده‌ســـازی تجهیزات تهویه مطبوع، اســـتفاده از ابزارهای مکانیکی برای

پاک‌سازی ناخالصی‌های زیان‌آور از منبع آب رها شده از سیستم نظیر اکسیژن، سختی مـازاد یا جامدات همراه آب ضروری اسـت. انتخاب تجهیزات مناسـب و مورد نیاز با مطالعه و بررسـی کمی و کیفی آب ورودی قابل اسـتفاده در دیگ، سیسـتم آب کندانسور و سیستم آبی با آب گردشی تعیین می‌شود.

سختی‌گیرهای آب

سـختی در آب مصرفی ناشی از وجود کلسـیم و منیزیم است. در تجهیزاتی که مقادیر زیادی آب سخت مصرف می‌کنند. در زمان کوتاهی جرم‌های سخت در سطوح محیط واسطه انتقال حرارت تشکیل می‌شوند. در این موارد برطرف کردن سختی آب قبل از استفاده از آن از نظر اقتصادی به صرفه است.

تعیین ضرورت سختی‌گیرها. در آب کندانسور برج خنک‌کن روباز، کندانسورهای تبخیری و دستگاه‌های افشانه سطحی برطرف کردن سختی آب به وسیله تجهیزات فراهم‌سازی معمولا مقرون به صرفه نیست. زیرا این سیستم‌ها در مقادیر pH نزدیک به خنثا عملکرد دارند و در این شـرایط به کمک مواد شـیمیایی ضد رسوب‌سازی و کنترل‌کننده pH می‌توان سختی آب را تحت کنترل نگه داشت. حتا اگر بخش عمده سختی آب برطرف شده باشد نیز روش آماده‌سازی، ضروری خواهد بود. بنابراین نصب سختی‌گیر در این قبیل تجهیزات صرفه اقتصادی ندارد مگر آنکه آب مصرفی به حدی سخت باشد که بدون اعمال فرآیند مقدماتی برای ایجاد آب قابل قبول، به طور کلی قابل استفاده در سیستم خاصی نباشد.

آب با سختی بیش از 300 یا 400 میلی‌گرم در لیتر، نیاز به نوعی آماده‌سازی دارد تا سـختی آن به میزانی برسـد تا بتوان در برج خنک‌کن از آن اسـتفاده کرد. مشابه این مورد، در سیسـتم‌های حرارتی آب گرم با دمای پایین و سیسـتم‌های خنک‌کن بسته، نصب تجهیزات سختی‌گیر آب مقرون به صرفه نیست. زیرا در این سیستم‌ها مقدار آب مصرفی قابل توجه نیسـت و آماده‌سـازی در داخل سیستم به وسیله مواد ضد رسوب‌سـازی می‌تواند از تشکیل جرم‌ها بر سطوح محیط واسطه انتقال حرارتی جلوگیری نماید.

اما در دیگ‌های آبگرم با دمای بالا و دیگ‌های بخار، برطرف کردن سـختی آب معمولا ضروری است. عامل تعیین‌کننده به طور معمول، کیفیت آب موجود است. در

دیگ‌های آب گرم با دمای بالا، اگر سختی آب از حد 100 میلی‌گرم در لیتر بالاتر باشد، در این صورت ســختی آب مصرفی باید گرفته شــود تا از تشکیل رسوب و یا ته‌نشین شدن لای بر سطوح انتقال حرارت جلوگیری شود.

در دیگ‌های بخار، عوامل تعیین‌کننده عبارت از سختی آب و مقدار آب مصرفی هســتند. در کاربردهای گرمایی با فشــار کم که در آن‌ها از بخار فقط برای گرم‌سازی استفاده می‌شــود و احتمالا مقدار بخار مصرفی برای فرآیند مرطوب‌سازی 10% بخار تولید شــده اســت، آب رها شــده از دیگ بیش از 90% بخار مصرف نشده را به شکل چگالیده همراه دارد. در این وضعیت، آب مصرفی نیاز به سختی‌گیری خارج از سیستم ندارد زیرا مقدار کمی سختی آب ورودی به سیستم با امکانات داخلی سیستم برطرف می‌شود.

در سیســتم دیگ‌های بخار که بیش از 10 درصد آب آماده‌ســازی شده را مصرف می‌کنند، نصب ســختی‌گیر از نظر اقتصادی و اجرایی مقرون به صرفه است. اگر آب مصرفی در این سیستم‌ها دارای سختی بیش از 100 میلی‌گرم در لیتر و مقدار مصرف آن بیش از 1000 گالن در روز (3785 لیتر در روز) باشــد، اســتفاده از ســختی‌گیر آب ضروری است. صرفه اقتصادی با مقایسه هزینه آماده‌سازی آب دیگ در درون سیستم بــرای کنترل جرم‌ها و گل‌ولای ته‌نشــین با هزینه عملیاتی یک ســختی‌گیر خارجی نتیجه‌گیری می‌شود.

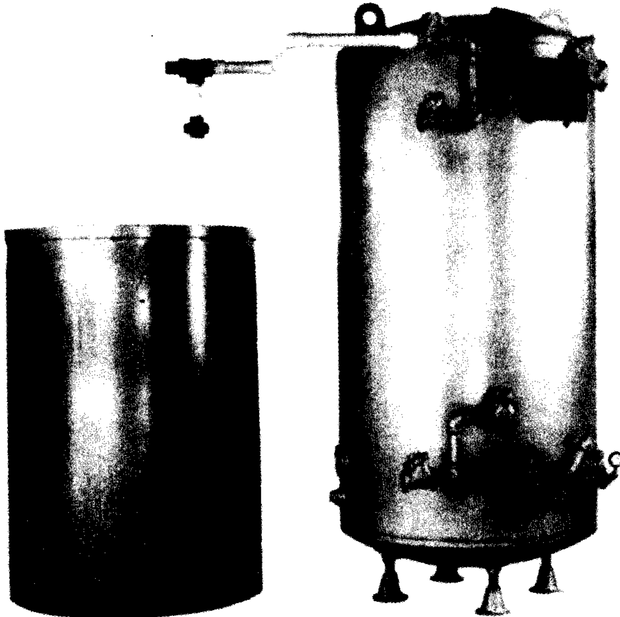
یکی دیگر از نکات قابل توجه این است که اگر آب ورودی به دیگ از میزان 1000 واحد گرین در ساعت تجاوز کند، در این صورت استفاده از سختی‌گیر ضروری است.

نکته: واحد گرین در ســاعت از حاصل‌ضرب ســختی آب با واحد گرین در گالن (17.1 میلی‌گرم در لیتر در هر 1.0 $\frac{gr}{gal}$) در نرخ مصرف با واحد گرین در ساعت به‌دست می‌آید.

$$\text{گرین در ساعت} = \text{سختی آب } (\frac{gr}{gal}) \times \text{آب مصرفی } (\frac{gal}{h})$$

ســختی‌گیرهای تبادل یونی. سختی‌گیر مورد استفاده برای آماده‌سازی آب دیگ عبارت است از یک سختی‌گیر زئولیت مصنوعی که محتوی رزین سختی‌گیر با تبادل یونی است، این رزین تبادل یونی، یون‌های کلسیم و منیزیم را از آب عبوری از بستر رزین جذب می‌کند. هم‌زمان با عامل جذب، رزین یون‌های ســدیم منتشر می‌کند و

به همین دلیل این فرآیند «تبادل یونی» نامیده می‌شود. تصویر (25) یک سختی‌گیر تبادل یونی معمولی که در دیگ‌ها استفاده می‌شود را نشان می‌دهد.



تصویر (25): سختی‌گیر تبادل یونی

ابعاد دستگاه سختی‌گیر وابسته به میزان آب مصرفی و میزان دفع سختی آب است. سختی‌گیر باید حداقل نرخ انتقال آب 6.6 گالن در دقیقه (25.2 لیتر در دقیقه) در هر 100 اسب بخار [3450 پوند در ساعت (1544.9 کیلوگرم در ساعت) نرخ بخار] باشد.

قلیازداها

وسیله دیگری که با فرآیند تبادل یون عملکرد دارد، دستگاه قلیازدا است. اگر دیگ بخار با آب جبرانی حاوی مقادیر بیش از حد کربنات و بی‌کربنات و در شرایط قلیایی بودن بالا فعال است، در این صورت این آب نه تنها اثر قلیایی بودن را در دیگ افزایش می‌دهد، (سبب تلاطم، کف‌سازی و لبریز شدن می‌شود) بلکه به دلیل فرآیند

تجزیه کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها مقادیر زیادی دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. حاصل فرآیند بخار و چگالیده اسیدی است که همان‌طور که قبلا بحث شد بر اثر این عوامل خطوط آب برگشتی مبتلا به خوردگی شدید بخار و چگالیده می‌شوند.

قلیایی بودن در این موارد با عبور دادن آب مصرفی از درون دستگاه قلیازدا پیش از ورود به واحد سختی‌گیر به میزان 90 درصد کاهش می‌یابد. معمولا استفاده از دستگاه قلیازدا صرفه اقتصادی ندارد، مگر آنکه میزان قلیایی بودن به دلیل وجود کربنات کلسیم از 100 میلی‌گرم در لیتر و آب جبرانی بیش از 100 گالن در ساعت (378.5 لیتر در ساعت) باشد. در مقادیر کمتر، دی‌اکسیدکربن تولید شده را می‌توان با اعمال روش‌های آماده‌سازی در مورد بخار و خط برگشتی کنترل نمود. توجیه اقتصادی استفاده از قلیازدا را می‌توان با مقایسه هزینه‌های روش‌های پیشگیری در بخار و خط برگشتی و نصب دستگاه قلیازدا تعیین نمود.

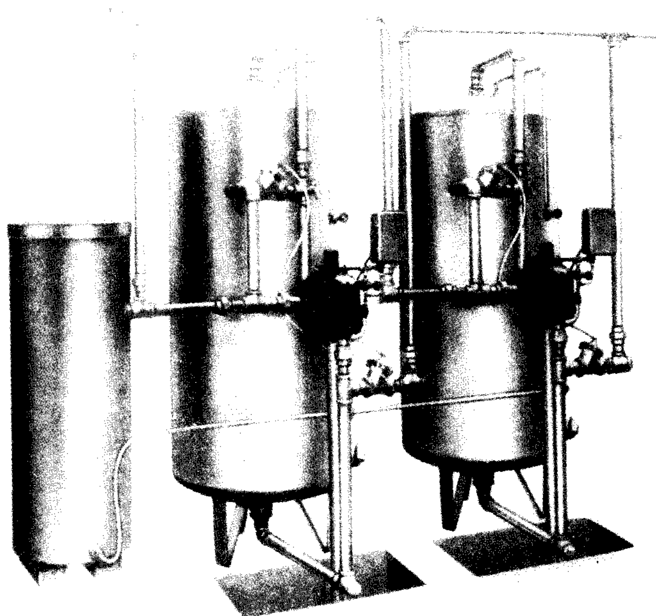
در تاسیساتی که بخار در تماس مستقیم با مواد غذایی است اداره مواد غذایی و دارویی آمریکا، استفاده از روش‌های آماده‌سازی خاصی را برای کنترل خوردگی ناشی از اسید کربنیک تحت شرایط محدودی مجاز شمرده است (ZICFR 173.310). در صورتی‌که اجرای روش کنترلی با این محدودیت‌های خاص امکان‌پذیر نباشد، نصب دستگاه قلیازدا برای برطرف کردن 90 درصدی شرایط قلیایی و کاهش تمایل شدید بخار و چگالیده برگشتی به خورندگی توجیه‌پذیر است.

دستگاه قلیازدا محتوی رزین تبادل یونی مشابه سختی‌گیر آب است که قابلیت تبادل آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات، سولفات و سایر آنیون‌های کلرید را دارد که در این صورت دستگاه معمولا همراه با واحد سختی‌گیر تبادل یونی است و به صورت خط کامل سختی‌گیر قلیازدا در سیستم نصب می‌شود. با وجود این دستگاه، میزان قلیایی بودن کاهش یافته و خوردگی ناشی از بخار و چگالیده در خط برگشتی کنترل می‌شود.

دی اریتورها[1]

برای جلوگیری از خوردگی‌های شدید و اثرات الکتروشیمیایی در دیگ و لوله‌های بخار، جداسازی اکسیژن از آب ورودی به دیگ بسیار ضروری است. این عمل با اجرای فرآیندهای شیمیایی انجام می‌گیرد. هر چند که در بسیاری از تاسیسات، استفاده از

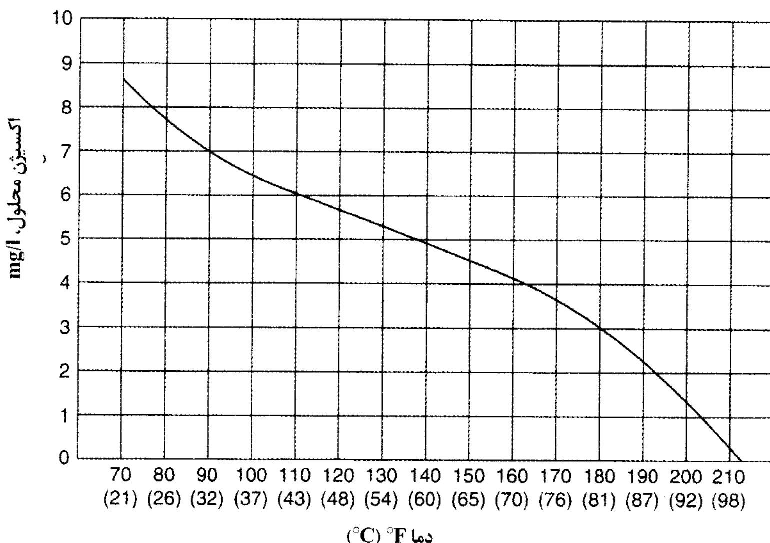
1. *Deaerator*



تصویر (26): قلیازدا

فرآیندهای شیمیایی به تنهایی عملا و از نظر اقتصادی موثر نمی‌باشد. در این قبیل موارد ضروری است که بخش عمده اکسیژن محلول در آب به روش‌های مکانیکی با اســتفاده از گرم کردن آب مصرفی و یا دستگاه دی اریتور و اعمال مقادیر کمی مواد شیمیایی به منظور از بین بردن کلیه گازهای خورنده، دفع شود.

وقتی‌که سیستم بخار از طریق گیرنده‌های چگالیده تهویه شده، مخازن آب مصرفی و ... در معرض هوای جو است، در این صورت هوای جذب شده محتوی مقادیر زیادی اکسیژن محلول اســت. میزان افزایش اکسیژن نسبت مستقیم با مقدار آب جبرانی دارد زیرا آب سرد جبرانی، همراه با میزان بالای اکسیژن محلول، نه تنها مقدار زیادی اکســیژن دارد بلکه دمای آب مصرفی در خط برگشــتی مخــزن چگالیده را افزایش می‌دهد و به تبع آن اکسیژن بیشتری از طریق جو در آب مصرفی حل خواهد شد. این فرآیند افزایش اکسیژن محلول به دلیل رابطه معکوس حلالیت اکسیژن با دما حاصل می‌شود. تصویر (27) میزان حلالیت اکسیژن نسبت به دما را نشان می‌دهد.



تصویر (27): حلالیت اکسیژن از طریق جو در فشار اتمسفری

دمای آب مصرفی در عملیات گرمایی فشار کم در صورتی‌که فرض بر این باشد که کل مقدار چگالیده برگشت داده شود، در حدود 180 تا 200 درجه فارنهایت (82 تا 93 درجه سانتی‌گراد) است، زیرا که مقداری کم و یا اصلا آب سرد جبرانی مصرف نمی‌شود. در چنین سیستم‌هایی استفاده از دستگاه دی‌اریتور و یا آب‌گرم‌کن معمولا لازم نیست و بنابراین امروزه در روش‌های طراحی، عرف این است که از به‌کار بردن آب‌گرم‌کن‌ها و اکسیژن‌زداها در دیگ‌های گرمایی فشار کم اجتناب می‌شود. هر چند که اگر دیگ گرمایی کم‌فشار به ناچار باید همراه با هر یک از واحدهای کاهنده بخار نظیر رطوبت‌زن بخار واحدهای تهویه یا میزهای اتو بخار و یا زودپزها در بوفه یا رستوران‌ها، مقدار آب سرد جبرانی میزان اکسیژن محلول را افزایش می‌دهد. در این قبیل موارد استفاده از یک دستگاه آب‌گرم‌کن و یا دی‌اریتور مکانیکی به منظور دفع اکسیژن محلول از آب مصرفی ضروری است. بدون وجود این دستگاه، هزینه مواد شیمیایی پاک‌کننده اکسیژن به تنهایی مقرون به صرفه نیست.

ساده‌ترین ابزار دی‌اریتور مکانیکی، گرم‌کن آب با منبع روباز و یا پیش‌گرم‌کن است. این دستگاه از یک کوئل بخار بسته یا باز نصب شده در مخزن چگالیده تهویه

شده تشکیل شده است. کوئل به روش ترموستاتیکی کنترل می‌شود تا دمای آب را به میزان 180 تا 200 درجه فارنهایت (80 تا 95 درجه سانتی‌گراد) یا بالاترین میزان دمای ممکن بدون ایجاد نواقصی نظیر خرابی محفظه‌ای و یا ضربه بخار در پمپ آب مصرفی دیگ، حفظ نماید.

دستگاه دی‌اریتور ابزار پیچیده‌تری است که به منظور شست‌وشوی آب ورودی به سیستم، بخار را به شدت به درون آب و چگالیده محتوی گازهای محلول، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن تزریق می‌کند. در دستگاه دی‌اریتور آب به روی بستر داخلی تعبیه شده از مهره‌های شیشه‌ای یا پلاستیک فشرده، افشانده و یا به درون ضربه‌گیرها و یا سینی‌ها چکانده می‌شود تا با آب برخوردی ایجاد شود تا آب مصرفی در تعادل با بخار ورودی قرار گیرد. بخار در خلاف جهت آب ورودی تزریق می‌شود تا گازها، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را از طریق هواکش تخلیه کند، هواکش فقط گازهای چگالیده نشده را دفع می‌کند و اتلاف بخار به میزان حداقل است.

برای حفاظت کامل دستگاه، آخرین مقادیر اکسیژن باید با اعمال فرآیند پایانی دفع شیمیایی اکسیژن دفع شود. بعضی از دی‌اریتورها می‌توانند آب را با میزان اکسیژن محلول به میزان کم 0.005 سانتی‌مترمکعب در لیتر برای مصرف آماده کنند. مجموع دستگاه‌های گرم‌کن‌های هواگیر نیز می‌توانند آب با کیفیت اکسیژن محلول 0.03 سانتی‌مترمکعب در لیتر که بیش از میزان مطلوب برای سیستم دیگ‌های تهویه است، فراهم کنند. این مجموع شامل واحد نصب شده در کارخانه شامل مؤلفه‌های گرم‌کن هواگیر، کنترل‌ها، پمپ‌های تغذیه دیگ و کنترل‌کننده‌های سطوح عملیاتی است. دستگاه گرم‌کن هواگیر دارای یک مخزن جمع‌آوری یا ذخیره چگالیده و آب مصرفی اولیه و یک بخش هواگیری است. آب مصرفی از مخزن به وسیله یک شیر چندراهه به طرف قسمت بالای هواگیر افشانده می‌شود. بخار از درون یک لوله «پخش‌کننده» به کف منطقه هواگیر تزریق می‌شود و درون آب مصرفی تلاطم حبابی ایجاد می‌کند. به این ترتیب بخار گازهای اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را از درون هواکش تخلیه می‌کند.

در بهترین حالت، باید تجهیزات مکانیکی برای دفع گازهای خورنده محلول در آب در هر دو نوع کم‌فشار و پرفشار (علاوه بر اعمال فرآیندهای شیمیایی) به‌کار گرفته شوند.

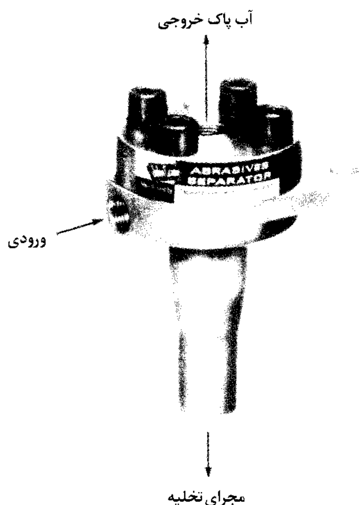
جداکننده‌های سایشی

در مدارهای بسته آب گرم، مدارهای آب سرد و گرم دودمایی یا سیستم‌های ثانویه بازچرخانی آب، یکی از مشکلات عمده وجود ذرات همراه آب است زیرا این ذرات نه تنها خوردگی رسوبی و آلودگی در سطوح انتقال حرارتی ایجاد می‌نمایند بلکه به شدت درزبندی مکانیکی و محور اصلی پمپ‌ها را تخریب می‌نمایند. ذرات سخت ساینده، محورهای پمپ و درزبندی مکانیکی آن را خش‌دار می‌کنند و سبب ایجاد نشتی و نقص عملکرد پمپ می‌شوند.

نقص درزبندی مکانیکی معمولا وابسته به روش آماده‌سازی آب در سیستم بازچرخانی آب است و ناشی از سایش، براده‌های ریز جدا شده از آهن، سنگ‌ریزه، شن یا سایر اجسام خارجی است. روش آماده‌سازی آب و یا سایر مواد معدنی در آب دلیل ایجاد نقص درزبندی نیستند مگر این‌که دماهای بالا در فرآیند را محسوب کنیم. این دماها سبب تخلیه آنی روان‌کننده‌ها در محل درز شده و منجر به رسوب‌گذاری مواد معدنی محلول در آب شده و به علت عدم وجود روان‌کننده، سطح محل درزبندی را خش‌دار می‌کند. این پدیده در دمای بالاتر از 160 درجه فارنهایت (71 درجه سانتی‌گراد) مشاهده می‌شود.

برای به حداقل رساندن این نقص، از جداکننده‌های سایشی کم‌هزینه استفاده می‌شود. این جداکننده‌ها نه تنها مواد ساینده همراه با آب را از روان‌کننده موجود در محل درزبندی می‌زدایند بلکه آب پاک و شفاف را در محل تخلیه پمپ به درون حفره درزبندی شده قرار می‌دهند که این عمل از تخلیه آنی حاصل از دماهای بالا جلوگیری می‌کند.

یک نمونه دستگاه جداکننده سایشی در تصویر (28) نشان داده شده است. دستگاهی که نشان داده شده است. با ورود آب از لوله تخلیه به پمپ به جداکننده و چرخش سریع ناشی از اختلاف فشار، آن در محفظه مخروطی شکل به وسیله نیروی گریز از مرکز، ذرات ساینده همراه با آب را دفع می‌کند. آب پاک از بالای نقطه وسط خروجی گرفته شده و از طریق لوله به محفظه پمپ هدایت می‌شود تا بر سطوح درزبندی شده افشانه شود. این آب پاک افشانده شده که تحت فشار تخلیه پمپ قرار دارد به طور مستقیم با سطوح درزبندی برخورد نمی‌کند. در تاسیسات بزرگ‌تر ممکن است جداکننده‌های مغناطیسی نیز علاوه بر این نوع جداکننده نصب شود.

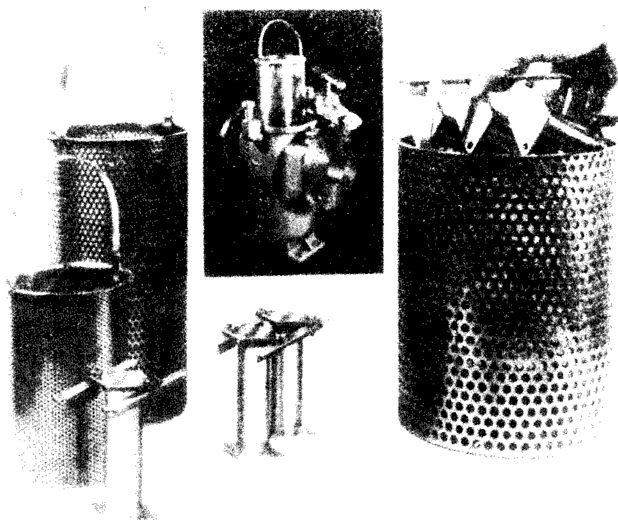


تصویر (28): جداکننده سایشی

صافی‌ها و فیلترها

نصب تمیزکننده‌ها قبل از پمپ در سیستم بازچرخانی آب کندانسور برای محافظت فضای داخل پمپ، پره‌ها، محور و منحرف‌کننده‌ها از آسیب‌های شدید پوسته‌های زنگار، آشغال‌های معلق و یا سایر اجسام خارجی که می‌توانند وارد سیستم‌های مدار باز شوند، بسیار رایج است. به همین ترتیب، تمیزکننده‌ها در سیستم‌های بسته نیز باید نصب شوند زیرا مجاری این نوع سیستم‌ها نیز معمولا توسط اکسیدسیاه مغناطیسی آهن حاصل از فرآیند و ذرات خارجی مسدود می‌شوند.

جداکننده‌های بشکه‌ای را می‌توان به عنوان فیلتر اولیه برای دفع ذرات بزرگ قبل از ورود آب به پمپ و مبدل‌های حرارتی به‌کار گرفت. هر چند که ذرات آهن و فولاد می‌توانند به حدی کوچک باشند که از پرده‌های با شبکه بسیار ریز نیز عبور کنند. آهن‌رباهایی که به جداکننده‌های بشکه‌ای متصل هستند، ذرات بسیار ریز آهن را جذب می‌کنند و سپس این ذرات با فشار آب یک لوله پرفشار زدوده می‌شوند. تصویر (29) یک نوع جداکننده بشکه‌ای دارای آهن‌رباهای الحاقی برای انجام این فرآیند را نشان می‌دهد.



تصویر (29): دستگاه جداکننده دارای تیغه‌های آهن‌ربایی

سرمایش مستقل

یکی از جالب‌ترین کاربردهای جداکننده‌ها و فیلترها در سیستم‌های برج خنک‌کن روباز تحت گواهی‌نامه 3995443 آمریکا در تاریخ 5 دسامبر 1976 ثبت شده است. در این سند فرآیندی تشریح شده است که معمولا سرمایش مستقل و یا سرمایش منفرد نامیده می‌شود. در طی ماه‌هایی از سال که دمای آب برج خنک‌کن را می‌توان به میزان 60 درجه فارنهایت (15.5 درجه سانتی‌گراد) یا کمتر ثابت نگه‌داشت، آب موجود در برج به مدار آب سرد عبوری از دستگاه سردکننده برگشت داده می‌شود. در این مورد، سردسازی به جای آب خنک آماده‌سازی شده یا مصنوعی، به روش طبیعی انجام می‌شود. این فرآیند می‌تواند در مصرف انرژی صرفه‌جویی قابل توجه‌ای ایجاد کند، زیرا در ماه‌های بهار و پاییز در اکثر نقاط کشور نیاز به روشن بودن دستگاه سردکننده نیست.

خطر آسیب‌رسانی با برگشت آب برج خنک‌کن به مدار آب سرد آشکار است. مواد معلق، ذرات هوازی، آشغال‌ها، گل‌ولای، رسوب چسبنده و ... به طور معمول در آب برج‌های خنک‌کن موجود هستند و می‌توانند مدار آب سرد را به شدت آلوده کنند. از

اینجایی که این‌گونه سیستم‌ها مجاری بسیار باریکی در واحدهای فن‌کوئل، واحدهای پایانه‌ای و ... دارند و همچنین دارای کنترل‌های ظریفی نظیر شیرهای سوزنی هستند و این شیرها با کمترین مقدار مواد معلق در آب جرم می‌گیرند، بنابراین برای اعمال موفقیت‌آمیز فرآیندهایی نظیر پاک‌سازی سرد باید آب برج خنک‌کن را از هرگونه مواد معلق و جرم پاک‌سازی کرد.

روش‌های نگهداری سیستم در وضعیت پاک و تمیز شامل استفاده از زداینده‌های پلیمری جدید و بازدارنده‌های رسوب در کنار جداکننده‌های دقیق، تمیزکننده‌ها، فیلترهای کیسه‌ای، ماسه‌ای و چندمنظوره هستند. معمولا به‌کارگیری مبدل‌های حرارتی با بازدهی بالا به‌جای تمیزکننده‌ها مشکل آلودگی را با محفوظ داشتن مدار بسته از مدار باز در سیستم‌های پاک‌سازی سرد برطرف می‌کند.

آماده‌سازی غیرشیمیایی و ابزارهای مکانیکی

در 50 سال گذشته و حتا بیش از آن، هر از گاهی دستگاه‌های غیرشیمیایی و ابزارهای مکانیکی به اشکال متنوع و مختلف عرضه شده‌اند که در مورد آن‌ها تعاریف اغراق‌آمیز نیز رواج یافته‌اند. کلیه لوازم از این قبیل مدعی از بین بردن و جلوگیری از تشکیل هر نوع رسوب در سیستم‌های بازچرخانی آب و دیگ‌ها بدون استفاده از مواد و فرآیندهای شیمیایی هستند. برخی از این دستگاه‌ها مدعی کنترل خوردگی و سایر آلاینده‌های بیولوژیکی نیز هستند. تعدادی از این فن‌آوری‌ها در زیر آورده شده‌اند:

دستگاه‌های مغناطیسی. در این دستگاه‌ها یک یا چند آهن‌ربا روی سیستم نصب شده و یا موازی جهت جریان آب در لوله قرار گرفته‌اند. ادعا می‌شود که با اندازه‌گیری و تنظیم دقیق این‌گونه دستگاه‌ها از تشکیل جرم‌ها جلوگیری می‌شود.

دستگاه‌های الکترولیتی. این دستگاه‌ها شامل یک آند از جنس روی و کاتد مسی هستند که در سیستم و در موقعیت تماس با آب نصب می‌شوند، در این دستگاه‌ها ادعا می‌شود که از تشکیل جرم‌ها برطبق فرآیندهای مشابه باتری جلوگیری می‌شود.

دستگاه‌های الکتروستاتیک. این دستگاه‌ها با تولید ولتاژ نقطه‌ای بسیار بالا (ولی با جریان کم) یک میدان استاتیک در درون آب ایجاد می‌کنند. ادعا می‌شود که این میدان از نظر فیزیکی بر یون‌های مواد معدنی محلول تاثیر گذاشته و از ته‌نشین شدن جرم جلوگیری می‌کند.

دستگاه‌های الکترونیکی. این دستگاه‌ها دارای طرح‌های مختلفی هستند، این طراحی‌ها شـامل دستگاه‌های نوسان‌سـاز موج مربع، سونار و مدولاسیون فرکانس (FM) هستند. علایم ایجاد شده بر یک سیم‌پیچ بسته که با پیچاندن سیم رسانا به دور لوله آب ساخته شده است، اعمال می‌شوند. این دستگاه‌ها مدعی هستند که انرژی را به یون‌های نمک‌های بی‌کربنات مواد معدنی محلول در آب انتقال داده و نانوکریستال ایجاد می‌کنند و از تشکیل جرم بر روی سطوح فلزی جلوگیری کرده و مواد معدنی را به شکل معلق در آب حفظ می‌کنند تا بتوان آن‌ها را از سیستم دفع کرد.

دستگاه‌های کاتالیزری. این دستگاه‌های غیرمغناطیسی از یک لوله سوراخ شده غیرآهنی به منظور تشکیل کریستال‌های دانه‌ای و کوچک کلسیت و کاهش تراکم جرم در آب استفاده می‌کنند. توصیه می‌شود که از این دستگاه‌ها در مورد آب‌های سخت و در شرایطی که اشباع شدن شدید به آسانی رخ می‌دهد، استفاده شود.

دسـتگاه‌های تغییردهنده فشار. در این دسـتگاه‌ها ادعا شده است که با عبور جریان آب از میان یک میله یا لوله سـوراخ شـده، افت فشار شدیدی حادث شده و سـبب آزاد شدن دی‌اکسیدکربن محلول در آب می‌شود و متعاقب آن pH محلول به آرامی بالا رفته و در نتیجه آب در شرایط فوق اشباع شدن همراه با میلیون‌ها کلسیت بسیار ریز (کربنات‌کلسیم کریستالی) می‌شود. این رشد تا اندازه‌های تقریبا کولوئیدی ادامه داشته و سرانجام کلسیت‌ها توسط نیروی برشی محوری جریان آب به درون آب هدایت شده و به جای آنکه توده شده و جرم‌ها را تشکیل دهند، به شکل ذرات مجزا در آب معلق قابل دفع شدن باقی می‌مانند.

بسیاری از این قبیل دسـتگاه‌ها «ابزارهای مکانیکی» نامیده می‌شوند و کارآیی چندانی ندارند. سایر دستگاه‌ها ممکن است تاثیرات محدودی بر کنترل جرم داشته باشـند، اما حتا وقتی‌که کریستال‌های دانه‌ای، نانوکریسـتال‌ها و یا گل‌ولای تولید می‌شـود، فقط در صورتی‌که این مواد به طور مرتب از سیستم آب پاک‌سازی شوند، رسـوب‌گذاری، آلودگی و اتلاف در تبادل حرارتی کماکان واقع می‌شوند. هیچیک از این دستگاه‌ها، کنترل عملی بر خوردگی و یا آلودگی بیولوژیکی ندارند. برای بسیاری از خریداران و یا دسـت‌اندرکاران صنعت سـاختمان و سیستم‌های آماده‌سازی آب، جذابیت دسـتگاه‌های غیرشیمیایی بسیار فریبنده است، اما این اشتیاق به استفاده

ممکن است به نحو قابل توجهی تحت تاثیر هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری خرید یا اجاره تجهیزات به انحراف کشیده شود.

آماده‌سازی دیگ، سیستم‌های خنک‌کننده حلقه باز و بسته

مواد شیمیایی، دستگاه‌های گوناگون و فرآیندهای مختلف آماده‌سازی آب باید در جهت ایجاد سیستم بهینه‌ای به منظور کاهش خوردگی، رسوب‌گذاری و آلودگی تا میزان قابل قبول برای هر سیستم و همچنین برای هر موقعیت جغرافیایی فعال باشند. برای کسب نتیجه بهینه در آماده‌سازی هر سیستم، اکیدا توصیه می‌شود از خدمات شرکت‌ها و مشاوران سرشناس در صنعت آماده‌سازی آب به منظور انتخاب مواد شیمیایی، تجهیزات و روش‌های عملی در مورد هر سیستم مورد نیاز استفاده شود و اقدامات لازم و موثر در مورد بازبینی، کنترل و بررسی سیستم انجام شود.

آماده‌سازی دیگ سیستم‌های آبی

به منظور جلوگیری از مشکلات خوردگی کلی، خوردگی الکتروشیمیایی، جرم‌ها و عملکرد نامناسب به سبب کف‌سازی، تلاطم جریان آب و سرزیر شدن، فرآیند آماده‌سازی داخلی دیگ‌های سیستم تهویه ضروری است. برای اجتناب از این معضلات هوادهی صحیح و آماده‌سازی باید انجام شوند.

هوادهی. هوادهی یعنی دفع خودبه‌خود مقداری از مواد متراکم شده درون آب دیگ با اعمال فشار، حداکثر مقدار توصیه شده تراکم ناخالصی‌ها که باید به نحو صحیح کنترل شوند در جدول (10) آورده شده‌اند. این مقادیر در مورد دیگ‌هایی است که فشار عملکرد آن‌ها حداکثر 250 psi در گرم (1724 کیلوپاسکال) است و فقط به عنوان راهنمایی ذکر شده‌اند. حدود واقعی این مقادیر برای هر دیگ خاص در حین عملکرد تعیین می‌شود.

جدول (10): حداکثر تراکم مواد جامد در دیگ برای دیگ‌های تا ظرفیت 250 پوند بر اینچ‌مربع (1124 کیلوپاسکال)

سیلیکا	150 mg/L
مواد جامد معلق	600 mg/L
کل مواد جامد حل شده	3000 mg/L

تعداد دفعاتی که جامدات در آب جبرانی درون دیگ جمع شـــده‌اند را دوره‌های تراکم می‌نامند. برای تعیین میزان هوادهی لازم، تجزیه آب مصرفی و مقایسه کیفیت آن با میزان تراکم‌های مجاز جامدات به نحوی که در جدول (10) خلاصه شـــده‌اند، ضروری اســـت. حداکثر دوره‌های تراکم مجاز برای هر یک از موارد فهرســـت شده در جدول (10)، با تقسیم کردن مقادیر حداکثر در این جدول بر مقادیر به‌دست آمده از تجزیه آب مصرفی تعیین می‌شود.

اکنـــون به عنوان مثال نتایج تجزیه آب شـــهر اماها در ایالت نبراســـکا را در نظر می‌گیریم (تصویر 30) و آن را با حداکثر تراکم مواد جامد در دیگ (جدول 10) مقایسه می‌کنیم، تا حداکثر تعداد چرخه‌های مجاز برای مواد متراکم را تعیین کنیم:

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.
50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS

METROPOLITAN

DATE
SAMPLING DATE
REPRESENTATIVE

ANALYSIS NUMBER		341247		
SOURCE		LP STEAM BOILER		
pH		7.9		
P ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	0.0		
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2, mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$, mg/L	250.		
CARBONATES	$CaCO_3$, mg/L			
HYDROXIDES	$CaCO_3$, mg/L			
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	250.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$, mg/L	86.		
SULFATE	SO_4, mg/L			
SILICA	SiO_2, mg/L			
IRON	Fe, mg/L			
CHLORIDE	NaCl, mg/L	35.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO_4, mg/L			
CHROMATE	Na_2CrO_4, mg/L	2800.		
NITRITE	$NaNO_2$, mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	3831.		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	3448.		
SUSPENDED MATTER				
BIOLOGICAL GROWTHS				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C				
FREEZING POINT °C/°F				
	% BY WEIGHT			

NOTES:
1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg)
2. CYCLES OF CONCENTRATION = CHLORIDES IN SAMPLE / CHLORIDES IN MAKEUP

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED
--	CHROMATE	2800	2000 - 2500		
--	pH	7.9	7.0 - 10.0		

تصویر (30): تجزیه آب شهر اماها، نبراسکا

نتایج تجزیه حداکثر تعداد چرخه‌های تراکم

سیلیکا، میلی‌گرم در لیتر:

$$\frac{\text{حداکثر}}{\text{آب جبرانی}} = \frac{150\,mg/L}{7.7\,mg/L} = 19.5\times$$

مواد جامد معلق (سختی)، میلی‌گرم در لیتر:

$$\frac{\text{حداکثر}}{\text{آب جبرانی}} = \frac{600\,mg/L}{159\,mg/L} = 3.8\times$$

کل مواد جامد حل شده، میلی‌گرم در لیتر:

$$\frac{\text{حداکثر}}{\text{آب جبرانی}} = \frac{300\,mg/L}{414\,mg/L} = 7.2\times$$

با توجه به نتایج بالا، مشاهده می‌کنیم که حداکثر تعداد چرخه‌های مجاز برای مواد متراکم برابر ×3.8 است. کمترین مقدار به‌دست آمده را در نظر می‌گیرند، زیرا اگر مقدار افزایش یابد، از نظر ناخالصی ذره‌ای مشکل ایجاد می‌شود. اگر سختی آب جبرانی گرفته شود، در آن صورت سختی آب یک عامل محدودکننده محسوب نمی‌شود. در این حالت، تعداد چرخه‌های مجاز مواد متراکم به مقدار ×7.2 که کمترین میزان دوم است، افزایش می‌یابد. عملا یک دستگاه سختی‌گیر آب ضروری است.

پس از تعیین حداکثر تعداد چرخه‌های مواد تراکم در دیگ، نرخ هوادهی لازم به منظور حفظ تجمع مواد جامد به میزان کمتر از این سطح حداکثر را می‌توان محاسبه کرد.

هوادهی برای دفع مواد جامد انباشته شده در دیگ اعمال می‌شود.

مقدار مواد جامد موجود در آب هوادهی شده و متراکم در دیگ برابر است با حاصل‌ضرب مقدار مواد جامد موجود در آب جبرانی در تعداد چرخه‌های مواد متراکم، این رابطه از نظر ریاضی با فرمول BCX بیان می‌شود که در این فرمول:

B= میزان هوادهی، گالن (لیتر)

C= تعداد چرخه مواد متراکم

X= کل مقدار مواد جامد متراکم در آب جبرانی، ppm (g/gal یا mg/L)

مقدار مواد جامد ورودی به دیگ همراه با آب مصرفی با فرمول ریاضی MX بیان

می‌شود که در این فرمول M مقدار آب جبرانی با واحد گالن (لیتر) است. از اینجایی که فرآیند هوادهی به منظور تامین مقدار معینی برای تعداد چرخه‌های مواد متراکم طراحی شده است، این مقدار تعیین شده فقط در صورتی معتبر است که دقیقا برابر با مقدار مواد جامد ورودی به دیگ باشد. این رابطه از نظر ریاضی به عبارت زیر بیان می‌شود:

$$BCX = MX$$

(مواد جامد ورودی) = (مواد جامد خروجی)

$B = M/C$ محاسبه مقدار هوادهی B به کمک این رابطه ریاضی منجر می‌گردد که رابطه بەدست آید. این فرمول برای تعیین نرخ هوادهی نسبت به نرخ آب جبرانی به‌کار برده می‌شود و از نظر درصدی به عبارت زیر بیان می‌شود:

$$\% \text{ هوادهی} = \frac{100}{C}$$

هر چند که معمولا در موارد واقعی حتا اگر محاسبه مقدار هوادهی میسر باشد، اندازه‌گیری نرخ هوادهی ممکن نیست. بنابراین اگر نرخ هوادهی کافی باشد، تعداد چرخه‌های تراکم به وسیله آزمایش ساده مقدار کلرید اندازه‌گیری می‌شود.

کلریدها عمده‌ترین مواد معدنی قابل حل شدن هستند و همیشه در مقادیر مختلف در آب جبرانی وجود دارد. علاوه بر این کلریدها فقط از طریق آب جبرانی وارد دیگ می‌شوند و به طرق دیگر نظیر فرآیندهای آماده‌سازی و یا از منابع دیگر ایجاد نمی‌شوند. تعداد چرخه‌های تراکم با مقایسه میزان کلریدها در آب جبرانی و در آب دیگ نتیجه می‌شود.

$$C = \frac{\text{میزان کلریدهای درون دیگ}}{\text{میزان کلریدهای آب جبرانی}}$$

این آزمایش ساده و عملی توسط مهندسان اجرایی برای کنترل نرخ هوادهی استفاده می‌شود.

آماده‌سازی داخلی سیستم‌های آب درون دیگ

کنترل جرم‌ها و گل‌ولای. پس از تعیین حداکثر تعداد مجاز چرخه‌های مواد متراکم و نتیجه‌گیری، به نرخ هوادهی به منظور جلوگیری از تجمع مواد معدنی بیش از حد مجاز، فعالیت‌های آماده‌سازی در جهت پیشگیری از رسوب‌گذاری و ته‌نشین

شدن مواد جامد در آب باید توجه شود. همان‌طور که قبلا به طور خلاصه ذکر شد، مواد معدنی سختی‌زا، کلسیم و منیزیم در آب دیگ‌ها ته‌نشین می‌شوند و تمایل به تشکیل جرم‌ها بر روی سطوح انتقال حرارتی دارند، مگر آنکه در این مورد اقدامی انجام شود. بدون آماده‌سازی آب، مواد معدنی احتمالا به صورت کربنات‌های غیرقابل انحلال و نمک‌های سولفات، ته‌نشین خواهند شد.

به طریق مشابه اگر سیلیکا بیش از حد قابل حل در آب وجود داشته باشد در این صورت سیلیکا و سیلیکات‌های پیچیده جرم‌های سخت و متراکم تشکیل خواهند داد.

بعضی از فرآیندهای آماده‌سازی برای پیشگیری از به‌وجود آمدن این جرم‌های سخت و متراکم شامل به‌کارگیری فسفات و ته‌نشین کردن عمدی کلسیم به شکل نمک فسفات و یا فسفات‌هایی با خاصیت قلیایی زیاد مانند فسفات‌هیدروکسی کلسیم یا هیدروکسی آپاتیت‌کلسیم $[Ca_3(PO_4)_2Ca(OH)_2]$ هستند. منیزیم همراه با هیدروکسیدقلیایی موجود در آب دیگ تشکیل‌دهنده رسوب هیدروکسید به شکل بروسیت $(MgOH_2)$ است. مواد رسوبی به شکل این نوع ترکیبات از درون آب آسان‌تر متلاشی و دفع می‌شوند.

روش‌های آماده‌سازی بدون استفاده از فسفات‌ها ممکن است با رسوب‌گذاری عمدی کربنات و سیلیکات به منظور ته‌نشین شدن کربنات‌کلسیم و سیلیکات منیزیم که با استفاده از پلیمرها با مکانیسم آسان‌تری متلاشی و دفع می‌شوند، همراه باشند. روش‌های آماده‌سازی آب دیگ می‌توانند همراه با استفاده از پلیمرهای آلی قابل حل شدن در آب نظیر لیگنین، تانین و پلی‌الکترولیت‌هایی که تشکل مواد ته‌نشین شدنی غیرمحلول در آب دیگ‌ها و آب عبوری از سطوح انتقال حرارتی را ایجاد می‌کنند، باشند. این مواد نظیر محیط هسته‌ای در اتم عمل می‌کنند به طوری‌که یون‌های محلول در آب با یکدیگر برخورد کرده و در سراسر محیط آب درون دیگ، ذرات غیرقابل حل و پراکنده تشکیل می‌دهند. بعضی از پلیمرها، پلی‌الکترولیت نامیده می‌شوند زیرا دارای مناطق الکترولیتی مثبت و منفی متعددی بر روی زنجیره پلیمری هستند.

پلی‌الکترولیت‌های نظیر پلی‌اکریلامید، پلی‌اکریلیت، پلی‌متااکریلیت، فسفات

پلیمریزه، پلی‌مالیت‌ها و سولفات‌های پلی‌استیرن نیز سبب اختلال رشد کریستالی ذرات پوسته‌ای شده و تمایل به چسبندگی آن‌ها بر روی سطوح انتقال حرارتی را کاهش و تمایل به متلاشی شدن را نسبت به متراکم شدن در این‌گونه رسوب‌ها افزایش می‌دهند. برخی از پلیمرهای جدید نیز سختی‌ها را مشابه چلیت‌ها[1] تجزیه می‌کنند و علاوه بر این رسوب‌های موجود را نیز مجددا حل می‌کنند. به این ترتیب این پلیمرها طی یک مکانیسم سه‌گانه شامل متلاشی کردن، تخریب کریستال‌ها و تجزیه رسوب‌ها در پیشگیری و از بین بردن جرم‌های فعال هستند.

یکی دیگر از انواع بازدارنده‌های رسوب‌سازی عوامل چلیت‌کننده هستند. چلیت‌کننده‌ها مواد آلی هستند که دارای قابلیت انحلال کلسیم، منیزیم و آهن هستند و از تشکیل نمک‌های غیرقابل انحلال جلوگیری می‌کنند. دو ترکیب اسیداتیلن دیامین تترااستیک[2] و اسیدنیتریلوتری استیک[3] در فرآیندهای آماده‌سازی آب دیگ‌ها به عنوان چلیت‌کننده به منظور جلوگیری از تشکیل جرم‌ها و در بعضی از موارد برای از بین بردن رسوب‌های موجود به‌کار گرفته می‌شوند. استفاده از این قبیل مواد در تجهیزات تهویه محدود است زیرا این مواد نیاز به کنترل دقیق دارند و در صورتی‌که کنترل نشوند عامل خورنده آهن می‌شوند. بعضی از فرمول‌بندی‌های خاص شامل مقادیر کمی مواد چلیت‌کننده برای کنترل بسیار دقیق جرم‌ها هستند. ترکیب عوامل چلیت‌کننده و پلیمرها تواما به طور گسترده استفاده می‌شود و نتایج بسیار مطلوبی دارد.

کنترل خوردگی در دیگ‌های سیستم توسط فرآیندهای قلیایی. خوردگی دیگ‌ها را می‌توان به وسیله تمیزکننده‌های اکسیژن[4]، تقویت‌کننده‌های قلیایی (بوستر) و بازدارنده‌ها کنترل کرد. خوردگی آهن به شدت وابسته به مقدار pH آب در تماس با آهن است. هرچه مقدار pH کمتر باشد، نرخ خوردگی بیشتر و هرچه مقدار pH بیشتر باشد، نرخ خوردگی کمتر می‌شود. در pH معادل 11، نرخ خوردگی آهن صفر می‌شود البته مشروط به این‌که اکسیژن و سایر گازهای خورنده دفع شده باشند. بنابراین روش

---

1. *Chelating Agent: معرف چنگلی، ماده‌ای است که با یون‌های فلزی ترکیب شده تشکیل مولکول‌های حلقوی می‌دهد.*

2. *Ethylenediaminetetraacetic (EDTA)*
3. *Nitrilotriacetic (NTA)*
4. *Oxygen Scavenger*

آماده‌سازی آب درون دیگ برای کنترل خوردگی کلی در سیستم، شامل یک ترکیب قلیایی به منظور افزایش pH از مقدار 10.5 به 11.5 است. این دامنه تغییر با عملکرد عادی سیستم و بدون ایجاد جوشش و یا سرزیر شدن سازگار است و در عین حال کنترل خوردگی مناسبی است. مواد قلیایی شامل هیدروکسیدسدیم و پتاسیم (که به سود سوزآور و پتاس محرق معروف هستند) و کربنات‌سدیم (معروف به نمک قلیا) هستند.

کنترل خوردگی در دیگ‌های سیستم توسط اکسیژن‌زدایی. همان‌طور که بحث شد، اکسیژن محلول در آب دیگ سبب خوردگی نقطه‌ای موسوم به خوردگی شیمیایی می‌شود، برای جلوگیری از خوردگی شیمیایی، اکسیژن باید دفع شود. این راهی برای ایجاد تحول یا تثبیت محیط اطراف نیز است. دی‌اریتورها برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما فقط استفاده از دی‌اریتور کافی نیست، زیرا بهترین دستگاه دی‌اریتور می‌تواند آب مصرفی دیگ با میزان اکسیژن محلول 0.0005 مترمکعب در لیتر ایجاد کند. این میزان خیلی کم اکسیژن نیز می‌تواند خوردگی شیمیایی شدید در خط آب مصرفی دیگ و لوله‌های قرار گرفته در مجاورت ورود آب مصرفی دیگ به‌وجود آورد. برای جلوگیری از این خوردگی، اکسیژن‌زداهای شیمیایی به منظور جذب اکسیژن از آب و ایجاد محیط عمل کاملا عاری از اکسیژن به‌کار گرفته می‌شوند. رایج‌ترین اکسیژن‌زدای شیمیایی سولفیت‌سدیم و هیدرازین[1] هستند. این مواد تمایل شدیدی به ایجاد پیوند با اکسیژن دارند و آن را از آب جذب می‌کنند.

سولفیت‌سدیم به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود و تقریبا 8 ppm آن برای جذب هر 1 ppm اکسیژن لازم است. به عنوان منبع مناسبی برای تامین سولفیت به مقدار کافی (معمولا 20 تا 50 ppm یا بیشتر) باید مقدار بیشتری سولفیت اضافه شود و بدین ترتیب معیار کلی برابر با 10 ppm برای هر 1 ppm اکسیژن است. با افزایش مقدار کمی اکسیژن‌زدا اضافی به آب می‌توان مطمئن شد که اکسیژن محلول وجود ندارد. فرمول‌بندی کامل برای آماده‌سازی آب به همین دلیل شامل سولفیت‌سدیم است و علاوه بر آن دربرگیرنده کاتالیزر نیز است تا از واکنش آنی بین اکسیژن محلول در آب و اکسیژن‌زدا حتا در آب سرد اطمینان حاصل شود.

استفاده از هیدرازین به علت سمی بودن، رواج زیادی ندارد. اخیرا اکسیژن‌زداهای

1. *Hydrazine*

دیگری مانند دی‌اتیل‌هیدروکسی لامین[1]، اریتوربات‌سدیم[2]، کربوهیدرازید[3]، متیل‌اتیل کتوکسیم[4] و هیدروکینون[5]، به عنوان جایگزین‌های هیدرازین به‌کار برده می‌شوند. به طور کلی مقدار استفاده از این مواد بسیار کم و شاید فقط 0.1 تا 0.2 ppm است.

تانین‌ها نیز به عنوان اکسیژن‌زدا کاربری دارند. استفاده از این مواد قدمت صدساله دارد و مزایای فوق‌العاده‌ای در اکسیژن‌زدایی در بسیاری از سیستم‌های تهویه دارند، از اینجایی‌که مواد آلی هستند، مشابه سولفیت‌ها TDS تشکیل نمی‌دهند و بسیار ارزان‌تر از DEHA یا اریتوربات هستند. تانین‌های دارای قابلیت هیدرولیز که ترکیباتی از کوبراچو[6] و سایر تانین‌ها هستند در شرایط قلیایی بودن آب موجود در دیگ (BW)[7] چند ماده اکسیژن‌زدا را تولید می‌کنند که عمدتا طراحی اکسیژن‌زدایی مشابه نمک‌های سدیم دارند. این مواد اکسیژن‌زدا شامل اسیدتانیک، اسیدالاژیک[8]، اسیدگالیک[9]، اسیدکینیک[10]، پیروگالول[11]، هیدروکنیون[12] و کاتکول[13] هستند. این مواد پراکنده‌کننده ته‌نشین‌ها و غیرفعال‌ساز مواد آلی نیز هستند.

تانین‌ها رنگ آب دیگ را قهوه‌ای می‌کنند که این رنگ قهوه‌ای بعضی از اوقات آزمایش سنجش سختی آب، کلریدی یا قلیایی بودن آب را در مرحله بررسی تغییر رنگ آب، کمی مشکل می‌سازد، اما وجود رنگ قهوه‌ای شدید در آب وجود تانین را تایید کرده و اطمینان می‌دهد که خوردگی اکسیژن تحت کنترل است.

کنترل خوردگی در دیگ‌های سیستم با فرآیند غیرفعال‌کردن. بازدارنده‌های ضدخوردگی، موادی هستند که الزاما سبب تغییر محیط عمل و یا شرایط فرآیند خوردگی نمی‌شوند، اما به عنوان مانعی بین محیط واسطه خوردگی و سطح در حال

---

1. *Diethylhydroxylamine (DEHA)*
2. *Sodium Erythorbate*
3. *Carbohydrazide (CHZ)*
4. *Methylethylketoxime (MEKO)*
5. *Hydroquinone (HQ)*
6. *Quebracho*
7. *Boiler Water (BW)*
8. *Ellagic acid*
9. *Gallic acid*
10. *Quinic acid*
11. *Pyro gallol*
12. *Hy droquinone*
13. *Catechol*

خورده شدن فلز عمل می‌کنند. موانع فیزیکی نظیر پوشش‌های محافظ و گالوانیزه کردن به عنوان فرآیندهای جلوگیری از خوردگی از ذهن می‌گذرند. این نوع پوشش درواقع فضای خوردگی که شامل آب، اکسیژن و گازهای اسیدی است را از فلز بدنه‌سازه جدا می‌نماید.

بازدارنده‌های ضدخوردگی که یک لایه محافظ بر روی سطح فلز ایجاد می‌کنند را می‌توان به عنوان مانعی فعال در برابر فرآیند خوردگی مثلا، بازدارندگی از واکنش شیمیایی خوردگی به آب اضافه نمود. چنین موانعی بر اثر واکنش شیمیایی بین فلز سطح محیط عمل و عامل بازدارنده یا توسط فرآیندهای جذب فیزیکی و یا جذب از سطح فلز، ایجاد می‌شوند. در این نوع بازدارندگی، لایه محافظ نامریی بدون ضخامت است. چنین مانعی دارای ضخامت یک مولکول از لایه محافظ است و بنابراین لایه تک‌مولکولی[1] نامیده می‌شود. با وجود لایه‌ای با این ضخامت، در فرآیند انتقال حرارتی تداخلی حادث نمی‌گردد و به این علت این بازدارنده‌ها در تجهیزات انتقال حرارتی بسیار موثر هستند. لایه‌هایی که بدین ترتیب تشکیل می‌شوند یا لایه‌های جذب شده تولید شده توسط بعضی از بازدارنده‌های آلی هستند یا محصول واکنش شیمیایی بین عامل بازدارنده و سطح فلز هستند. لایه محافظ می‌تواند ترکیبی از دو فرآیند جذب و واکنش شیمیایی نیز باشد. نتیجه تشکیل این لایه کاهش نرخ خوردگی و غیرفعال بودن مواد خورنده است.

غیرفعال بودن عبارت است از وضعیتی که در آن یک فلز فعال از نظر شیمیایی که در آن بازفعالی اساسا کاهش یافته و در برابر خوردگی مقاوم است و یا وضعیتی که در آن رفتار الکتروشیمیایی آن به حد فلزهایی که کمتر فعال هستند، تقلیل یابد. در این حالت فلز غیرفعال یا پاسیو شده است. چنین بازدارنده‌هایی غیرفعال‌کننده نامیده می‌شوند. بازدارنده‌های غیرآلی به‌کار گرفته شده در دیگ‌ها برای تامین این منظور شامل مولیبدات‌ها، نیتریت‌ها، برات‌ها، سیلیکات‌ها و فسفات‌ها هستند. برخی از بازدارنده‌های آلی مورد استفاده شامل فسفونات‌ها، پلی‌اکریلیت‌ها، اسیدهای فسفینوکاربوکسیلیک و مواد آلی دارای ازت مانند تریازول و آمین‌ها هستند.

تانین‌ها به عنوان غیرفعال‌کننده نقش خاصی دارند و در یک واکنش شیمی فیزیکی مابین فلز و آب در درون دیگ شرکت می‌کنند که محصول این واکنش یک

1. *Monomolecular film*

لایه (بازدارنده خوردگی) از جنس تانات آهن غیرفعال شده است.

کنترل خوردگی در قسمت‌های قبل از دیگ. با وجود این‌که هنوز از نمک قلیا برای کنترل pH درون دیگ استفاده می‌شود، اما این ماده قلیایی برای استفاده در تجهیزات تهویه‌ای مناسب نیست. کربنات‌هایی که به آب دیگ افزوده می‌شوند نیز pH آب دیگ را افزایش داده و تجزیه شده و گاز دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌کنند و این گاز سبب خوردگی در گرم‌کن‌ها و خطوط بخار و چگالیده می‌شود. دی‌اکسیدکربن در چگالیده بخار حل شده و اسیدکربنیک تولید می‌کند. این اسید در مورد فولاد و مس بسیار خورنده است و می‌تواند علت نقص دستگاه‌های گرم‌کن و خطوط و تجهیزات مربوط به چگالیده باشد. حتا اگر کربنات اضافه نشود، بی‌کربنات‌ها و کربنات‌های طبیعی از طریق آب مصرفی به درون دیگ وارد شده و مجددا شکل خوردگی دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌شود.

دی‌اکسیدکربن حاصل از کربنات‌ها و بی‌کربنات‌هایی که به طور طبیعی در آب مصرفی دیگ وجود دارند را می‌توان با استفاده از آمین‌های خنثاکننده و مواد قلیایی سبک وابسته به آمونیاک خنثا کرد. آمین‌هایی که برای این منظور استفاده می‌شوند شامل مورفولین، سیکلوهگزیل آمین و دی‌اتیل‌آمینواتانول هستند. این مواد که در دمای اتاق به شکل مایع هستند، تقریبا در دماهای مشابه آب به نقطه جوش و تبخیر می‌رسند و بنابراین همراه با بخار حرکت می‌کنند و این ترکیب به آزوتروپ[1] معروف است. با چگالیده شدن بخار و تبدیل آن به آب، آمین‌ها نیز چگالیده شده و ایجادکننده چگالیده‌های قلیایی با تاثیر خورندگی کمتر بر سطح فلزات می‌شوند. حتا اگر گازهای دی‌اکسیدکربن جذب شوند، چگالیده‌های جاری شده و محتوی آمین خنثا سبب بالا رفتن pH آب می‌شوند. در مورد چگالیده‌های جاری مقدار pH در دامنه 0.7 تا 0.9 بسیار مطلوب و نشانه کنترل بهینه کلیه فلزات موجود در سیستم‌های حرارتی شامل آهن، فولاد، برنج و مس است.

علاوه بر استفاده از خنثاکننده‌ها در خطوط چگالیده و برگشتی از بازدارنده‌های لایه‌ساز نیز استفاده می‌شود. این بازدارنده‌ها شامل آمین‌های آلی یا آمیدهایی نظیر

1. *Azeotrope*

اکتادی‌ســـیلامین[1] و مخلوط اکتادی‌کانول[2] و استرآمید هستند. این بازدارنده‌ها در لوله‌های چگالیده و درزهای آن‌ها لایه‌های غیرقابل انحلال تشـــکیل می‌دهند. آن‌ها همراه با بخار اســـتحصال می‌شـــوند یعنی با بخار جریان دارند و در سیســـتم بخار و چگالیده رســـوب می‌کنند. نقص این نوع بازدارنده این اســـت که لایه تشـــکیل شده حدی ندارد و رســـوب‌های سنگین تله‌ها و فشارشـــکن‌های بخار و سایر تجهیزات را مسدود می‌نمایند، مگر این‌که برای اجتناب از این مشکل دقت خاصی اعمال شود. بخار به لایه تبدیل شـــده و بازدارنده‌های خط چگالیده در سیســـتم‌هایی که در آن‌ها چگالیده برگشتی وجود ندارد و یا مقدار آن ناچیز است، کارآیی بسیار مناسبی دارند. در دیگ‌هـــای حرارتی که بخش عمده چگالیده برگشـــت داده می‌شـــود، آمین‌های خنثاکننده کارآیی بیشـــتری دارند. فرآیند ترکیبی خنثاسازی و آمین‌های لایه‌ساز نیز به‌کار برده می‌شود.

معیارهای کنترلی و معیارهای اضافی در آماده‌سازی آب دیگ

تلاطم، جوشش و همراه شدن مواد. تلاطم آب دیگ عبارت است از برخورد آب به بدنه و برگشت آن در طول عملیات سیستم. اما جوشش یک فعالیت کم تحرک‌تری اســـت. جوشش شامل تشکیل حباب در آب در حال جوش است که پدیده‌ای مشابه ایجاد کف صابون در ماشین لباسشویی است.

همراه شدن مواد، اصولا نوع آلودگی بخارمانند همراه با آب دیگ است. این پدیده حاصل تلاطم و جوشـــش است و حتا می‌تواند بدون مشاهده تلاطم و یا جوشش در آب دیگ، بخار آن را آلوده کند.

علل به وجود آمدن پدیده‌های تلاطم، جوشش و همراه شدن مواد با بخار می‌توانند متعدد و مختلف باشند. معمولا این پدیده‌ها ناشی از آلودگی آب دیگ به وسیله روغن و یا سایر اجسام خارجی هستند. سایر علل شامل تجمع مازاد مواد جامد به علت عدم هوادهی، قلیایی بودن بالا، اعمال بیش از حد مجاز فرآیندهای آماده‌ســـازی یا نقص مکانیکی هستند.

هوادهی مناسب و فرآیندهای مناسب کف‌زدایی می‌توانند وقوع پدیده‌های تلاطم،

---

1. *Octadecylamine*
2. *Octadecanol*

جوشش و همراه شدن مواد را کاهش دهد.

آماده‌سازی آب در دیگ‌های حرارتی با بخار کم‌فشار. اکثر دیگ‌های حرارتی با بخار کم‌فشار دارای عملکرد منحصر به فردی هستند که در آن، کل مقدار بخار تولید شده فقط به منظور گرمادهی استفاده می‌شود. بنابراین مقدار آب جبرانی کم و به تبع آن تجمع مواد جامد نیز ناچیز است. آب جبرانی فقط برای جبران اتلاف در هواکش‌ها، نشتی و سرریز شدن در گیرنده‌های چگالیده است.

بدین ترتیب در شرایطی که مصرف آب و تجمع مواد معدنی کم است، حتا با استفاده از آب خیلی سخت نیز مشکلات تشکیل جرم‌ها به نحو قابل توجهی کاهش می‌یابد. اما تحت همین شرایط معضل خوردگی می‌تواند شدیدتر شود. برنامه آماده‌سازی آب در این وضعیت معمولا شامل یک بازدارنده برای دیگ و خنثا کردن یا استفاده از آمین لایه‌ساز برای سیستم بخار و چگالیده است. البته این برنامه محدود می‌شود به سیستم‌هایی که «بسته» هستند و در آن‌ها کل بخار به صورت چگالیده به دیگ برمی‌گردد و به منظور رطوبت‌دهی و یا آشپزی مثلا در اغذیه‌فروشی‌ها و رستوران‌ها از بخار استفاده نمی‌شود. هر جا که بخار مصرف می‌شود، آب موجود در سیستم متمایل به تجمع مواد معدنی در دیگ است و برنامه‌های دیگری برای آماده‌سازی آب به شرح آورده شده در زیر ضروری است.

بازدارنده‌های خوردگی که به طور گسترده در دیگ بخار کم‌فشار استفاده می‌شود شامل مولیبدات‌سدیم و نیتریت‌سدیم هستند. برای اطمینان از این‌که این بازدارنده‌ها به طور مستمر یک لایه محافظ ایجاد می‌کنند و هیچ نقطه‌ای از سطح فلز بدون محافظ نیست، باید برای سطح حداقل لایه‌سازی ضوابطی وضع کرد. بازدارنده‌ها الزاما باید محیط واسطه‌ای ایجاد کنند تا به منظور تامین بهترین بازدهی، pH آب را در دامنه 7.0 تا 10.0 حفظ کنند.

در مورد سیستم‌های دیگ حرارتی با بخار کم‌فشار، آمین‌های خنثاکننده را می‌توان به تدریج و در فواصل زمانی منظم و به مقدار کافی به آب اضافه نمود تا pH چگالیده در دامنه 7.5 تا 8.5 حفظ شود. آمین‌های خنثاکننده در سیستم‌هایی که محتوی نیتریت هستند و یا در آن‌ها از بخار برای رطوبت‌زنی استفاده می‌شود، نباید مصرف شوند.

آماده‌سازی آب در دیگ‌های بخار خط فرآیند با بخار کم‌فشار و پرفشار. از اینجایی که سیستم‌های با بخار پرفشار در دماهای بالاتری نسبت به سیستم‌های حرارتی کم‌فشار، عملکرد دارند، بنابراین از بازدارنده‌های خوردگی ذکر شده در بالا نمی‌توان در آن‌ها استفاده کرد. روش آماده‌سازی آب در دیگ‌های پرفشار شامل استفاده از مواد تثبیت‌کننده حرارت نظیر ثبات‌های محیط عمل که شرایط مرتبط با خوردگی و رسوب‌گذاری را تغییر می‌دهند، است.

وقتی‌که دیگ بخار کم‌فشار با مقداری آب ورودی برای مصرف شدن در فرآیندهای رطوبت‌زنی به بخار، میزهای بخار آشپزخانه‌ای، ماشین‌های ظرفشویی یا سایر مقاصد، عملکرد دارد، شرایط استفاده از بازدارنده‌ها متفاوت می‌شوند. در مورد آب ورودی برای مصرف شدن به علت اتلاف بخار، مواد معدنی موجود در آب تمایل به تجمع دارند. در این شرایط، افزایش میزان هوادهی برای جلوگیری از تشکل مواد معدنی و آماده‌سازی آب اضافی برای جبران اتلاف آب در اثر هوادهی، ضروری است. بدین‌ترتیب، فرآیند آماده‌سازی دیگری شامل استفاده از بازدارنده‌های تشکل جرم‌ها برای جلوگیری از سختی‌سازی آن‌ها در آب مصرفی و ایجاد جرم‌ها لازم خواهد شد. بنابراین در چنین سیستم‌هایی به جای استفاده از بازدارنده‌های خوردگی، باید مشابه دیگ‌های بخار پرفشار از تثبیت‌کننده‌های محیط استفاده نمود.

آماده‌سازی آب برای کنترل خوردگی شامل تنظیم میزان قلیایی بودن و pH آب به وسیله سود سوزآور و حفظ pH در دامنه 10.5 تا 11.5 و در شرایط مناسب عملیاتی است. آب مصرفی دیگ باید به منظور دفع اکسیژن حل شده و جلوگیری از خوردگی شیمیایی اکسیژن، اکسیژن‌زدایی شود و علاوه بر این برای از بین بردن کوچک‌ترین مقادیر اکسیژن از یک ماده تمیزکننده اکسیژن استفاده شود. برای این منظور از سولفیت‌سدیم به غلظت 20 تا 50 میلی‌گرم در لیتر یا ترکیبات آلی نظیر دی‌اتیل‌هیدروکسیل لامین و اریتوربات‌سدیم استفاده می‌شود. در اکثر کاربری‌های تهویه مطبوع استفاده از سولفیت‌سدیم برتری دارد زیرا نگهداری، کاربرد و کنترل آن از نظر آسانی و هزینه مناسب‌تر است و در مواردی‌که دفع مواد جامد حل شده اهمیت دارد نظیر دیگ‌های الکترودی، برتری دارند. زیرا این مواد آلی به مواد معدنی موجود در دیگ افزوده نمی‌شوند. از اینجایی که دی‌اتیل هیدروکسیل‌لامین سبب

تشکل آمونیاک یا آمین‌ها که خورنده مس، برنج و سایر آلیاژهای مس که معمولا در سیستم‌های حرارتی به‌کار برده می‌شوند، هستند. بنابراین باید انتخاب ماده تمیزکننده اکسیژن بادقت در نظر گرفته شود.

برای کنترل جرم‌ها و مواد ته‌نشـــین برای آماده‌ســـازی دیـــگ، در صورت لزوم از نرم‌کننده زئولیت همراه با آماده‌سازی آب در درون دیگ به کمک فسفات‌ها، ترکیبات چلیت، پلیمرها و یا متلاشی‌کننده‌ها[1] استفاده می‌شود. برنامه کنترل اولیه شامل یک ترکیب پلیمر فســفات برای ایجاد توده‌ای از فسفات‌ســدیم در آب دیگ به غلظت 60 میلی‌گرم در لیتر به منظور مطمئن شــدن از ته‌نشینی کل کلسیم به شکل ترکیبات فسفات است.

برنامه‌های بدون فســفات شــامل پلیمرها، فســفاتات‌ها یا مجموعه ترکیبی از پلیمرها، فســفات‌ها و چلیت‌کننده‌ها همراه با پلیمر به غلظت 2 تا 100 میلی‌گرم در لیتر وابســته به نوع پلیمر و فرمول‌بندی به‌کار رفته شده است. چلیت‌کننده‌ها نباید بیش از غلظت 2 تا 3 میلی‌گرم در لیتر استفاده شوند زیرا خوردگی آهن در آب دیگ تسریع می‌گردد.

مــواد ضد کف برای جلوگیری از ایجاد کف و ســرریز شــدن آب در فرمول‌بندی آماده‌سازی آب دیگ به‌کار گرفته می‌شوند. این مواد فرآیند جوش هسته‌ای را تقویت کــرده و از ایجــاد کف و ســرریز شــدن آب جلوگیری می‌کنند. مــواد ضد کف مورد اســتفاده در آماده‌ســازی آب دیگ‌ها شامل گلیکول پلی‌الکیلن و پلی‌آمیدها هستند که با غلظت‌های 10 تا 100 میلی‌گرم در لیتر مورد اســتفاده قرار می‌گیرند. در نهایت باید اظهار داشت که برنامه آماده‌سازی دیگ‌های بخار پرفشار و دیگ‌های فرآیندهای کم‌فشار باید شامل یک بازدارنده خوردگی در خط برگشت چگالیده و خط بخار باشد. این ترکیب بازدارنده می‌تواند آمین خنثاساز یا مخلوطی از آمین‌های خنثاساز باشد تا pH چگالیده را در دامنه 7.0 تا 9.0 حفظ کند. هرگاه اتلاف بخار شدید است و استفاده از آمین‌های خنثاســاز پرهزینه می‌شــود، از بازدارنده‌هایی که پوشش محافظ ایجاد می‌کنند برای حفظ لوله‌کشی خط چگالیده استفاده می‌شود.

1. *Dispersants*

برنامه‌های تغذیه و کنترل در فرآیند آماده‌سازی آب دیگ

آزمایش‌های کنترلی. آزمایش‌های کنترلی در فرآیند آماده‌سازی آب یکی از مهم‌ترین جنبه‌های برنامه آماده‌سازی آب است. بدون آزمایش‌های مناسب، آسیب‌ها بیشتر از مزایای آب مصرفی خواهد شد. یک نمونه تجزیه کیفی آب دیگ بخار با استفاده از بازدارنده مولیبیدات‌سدیم در تصویر (31) کیت نشان داده شده است. در مورد دیگ‌های بخار پرفشار و کم‌فشار، آزمایش‌ها باید بیشتر تکرار شوند. انجام سه بار آزمایش در روز در مواقعی که بار سیستم به سرعت تغییر می‌کند، الزامی است. آزمایش‌های روزانه با استفاده از کیت‌های آزمایشگاهی عموما برای کسب بهترین نتیجه رایج‌تر است.

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.
50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS



DATE
SAMPLING DATE
REPRESENTATIVE

ANALYSIS NUMBER		374129		
SOURCE		HIGH PRESSURE BOILER		
pH		11.3		
P ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	153.		
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2, mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$, mg/L			
CARBONATES	$CaCO_3$, mg/L	122.		
HYDROXIDES	$CaCO_3$, mg/L	92.		
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	214.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$, mg/L	0.0		
SULFATE	SO_4, mg/L			
SILICA	SiO_2, mg/L	23.		
IRON	Fe, mg/L			
CHLORIDE	NaCl, mg/L	841.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO_4, mg/L	50.		
CHROMATE	Na_2CrO_4, mg/L			
NITRITE	$NaNO_2$, mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	2244.		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	1818.		
SUSPENDED MATTER				
BIOLOGICAL GROWTHS				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C				
FREEZING POINT °C/°F				
	% BY WEIGHT			

NOTES
ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY [illegible] TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg)
CYCLES OF CONCENTRATION = CHLORIDES IN SAMPLE / CHLORIDES IN MAKEUP

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED
	pH	11.3	10.5 - 11.5		
	P ALKALINITY	153.	200 - 400		
	PHOSPHATE	50.	30 - 50		
	SULFITE	35.	30 - 50		
	TOTAL DISS. SOLIDS	1818.	3000 MAX.		

تصویر (31): نتایج تجزیه کیفی آب دیگ بخار کم‌فشار

نمونه آزمایش تجزیه‌ای در مورد آب یک دیگ بخار پرفشـــار همراه با کنترل‌های توصیه شده، در تصویر (32) نشان داده شده است. کمیت‌های آزمایشگاهی برای ارزیابی آسان نمونه‌های آب دیگ در دسترس هستند. تصویر (33) کیت آزمایش قطره‌ای در رابطه با سولفیت کلریدها انجام شده توسط مهندسان مسوول برای دیگ‌های بزرگ‌تر در فواصل زمانی معین را نشـــان می‌دهد. تصویـــر (34) تجهیزات مربوط به این‌گونه آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

روش‌های تغذیه. آماده‌ســـازی آب در مورد دیگ‌ها با وســـایل متنوعی از همزن تا پمپ‌ها و ابزارهای کنترلی دقیق اختلاط مواد شیمیایی انجام می‌شوند. این روش‌ها

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS

DATE

SAMPLING DATE

REPRESENTATIVE

ANALYSIS NUMBER		341247		
SOURCE		LP STEAM BOILER		
pH		7.9		
P ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	0.0		
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2, mg/L			
BICARBONATES	$CaCO_3$, mg/L	250.		
CARBONATES	$CaCO_3$, mg/L			
HYDROXIDES	$CaCO_3$, mg/L			
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$, mg/L	250.		
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$, mg/L	86.		
SULFATE	SO_4, mg/L			
SILICA	SiO_2, mg/L			
IRON	Fe, mg/L			
CHLORIDE	NaCl, mg/L	35.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO_4, mg/L			
CHROMATE	Na_2CrO_4, mg/L	2800.		
NITRITE	$NaNO_2$, mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	3831.		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	3448.		
SUSPENDED MATTER				
BIOLOGICAL GROWTHS				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C				
FREEZING POINT °C/°F				
	% BY WEIGHT			

NOTES

1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER [illegible]

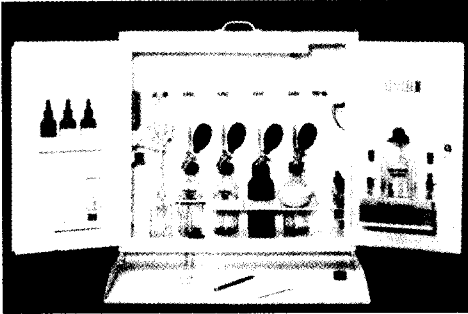
2. CYCLES OF CONCENTRATION = [illegible]

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED
--	CHROMATE	2800	2000 - 2500		
--	pH	7.9	7.0 - 10.0		

تصویر (32): نتایج تجزیه کیفی آب دیگ بخار پرفشار



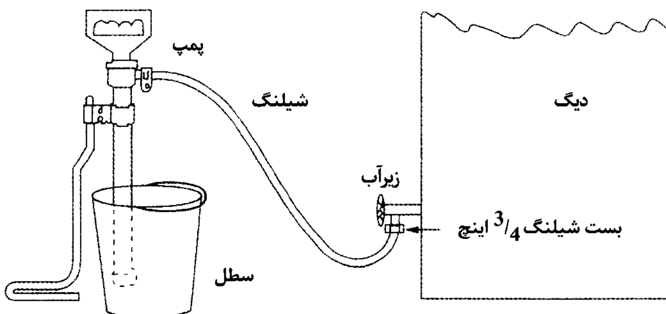
تصویر (33): کیت آزمایشگاهی برای کنترل آب دیگ



تصویر (34): جعبه لوازم آزمایش کیفیت آب

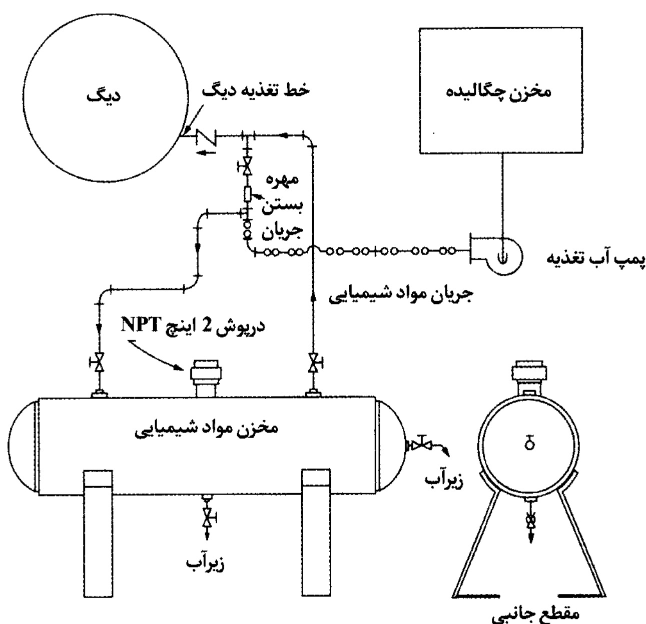
به اختصار شرح داده شده‌اند.

روش‌های تغذیه تزریقی. روش‌های تزریقی برای افزودن مواد به آب در مورد دیگ‌های حرارتی کم‌فشار بسیار موثر و کاربری آسان دارند زیرا در این روش‌ها فقط به طور متناوب ترکیب بازدارنده خوردگی و در برخی موارد حتا با افزودن آمین خنثاسازی چگالیده در دوره‌های هفتگی، آماده‌سازی آب انجام می‌شود. یکی از دستگاه‌های رایج برای این منظور، پمپ دستی است که به وسیله آن مواد شیمیایی از طریق یک مجرای تحتانی $^{3}/_{4}$ اینچی (20 میلی‌متری) اضافه می‌شوند. تصویر (35) این طرز عمل را نشان داده است.



تصویر (35): پمپ دستی برای افزودن مواد بازدارنده به آب درون دیگ

نوع دیگر از دســتگاه‌های تزریقی ابزار تغذیه کاســه‌ای یا کنارگذر است. این نوع تغذیه‌کننده باید در خط آب ورودی به دیگ نصب شــود تا مواد را با فشــار پمپ آب مصرفی دیگ، به طور مستقیم به درون دیگ تزریق کند. اگر این دستگاه بر روی خط آب ورودی اولیه نصب شــود، در این صورت یک بازدارنده برگشــت آب نیز به منظور جلوگیری از آلوده شدن آب اولیه به وسیله آب دیگ باید به‌کار گرفته شود. نحوه نصب در تصویر (36) نشان داده شده است.



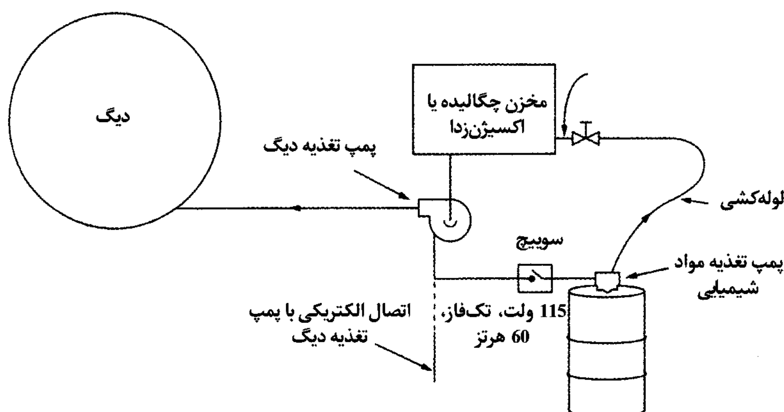
تصویر (36): تغذیه‌کننده کنارگذر برای دیگ‌ها

روش‌های تغذیه تناســبی. در دیگ‌های بخار پرفشار و فرآیندهای کم‌فشار، روش مطلوب افزودن مواد به طور مستمر و به نسبت‌های معینی از مقدار واقعی موردنیاز به یک دیگ دیگر است. در سیستم‌های افزودن تناسبی مواد، میزان ترکیبات افزودنی مختلف به آب را بر اساس جریان آب مصرفی تعیین می‌کنند.

مبانی سیســتم تغذیه تناسبی مواد. یک سیســتم افزودن تناسبی مواد به طور ساده شامل یک پمپ تغذیه مواد شیمیایی متصل به پمپ آب مصرفی است تا مواد را

به طور مستقیم از مخرن نگهداری به مخزن آب مصرفی قبل از دیگ انتقال دهد. این روش در شرایطی که فقط یک ترکیب شیمیایی در فرمول آماده‌سازی آب وجود داشته و این ترکیب شامل کلیه بازدارنده‌های خوردگی و رسوب‌سازی بدون وجود فسفات‌ها باشد، یک روش ایده‌آل است.

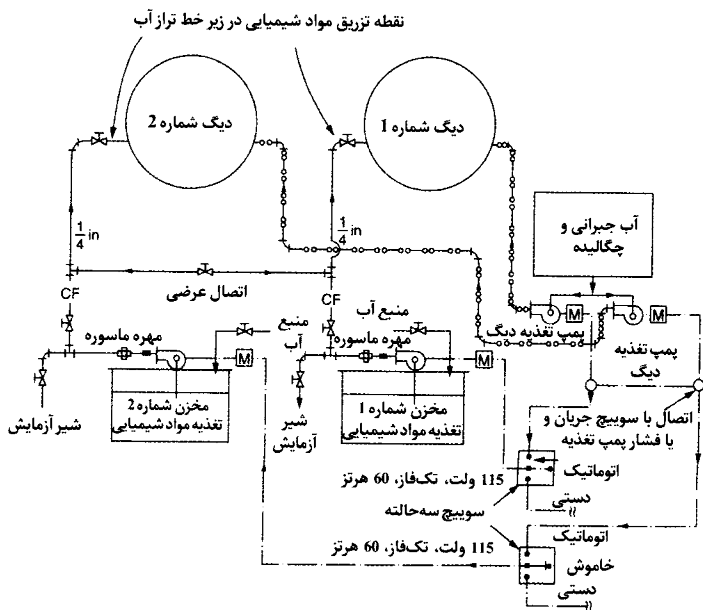
سیستم نشان داده شده در تصویر (37) در مورد کلیه سیستم‌های دیگ در اندازه‌های مختلف کاربری دارد، مشروط به این‌که ترکیب شیمیایی شرایط بالا را داشته باشد.



تصویر (37): نمونه ساده‌ای از سیستم افزودن تناسبی مواد

سیستم افزودن تناسبی مواد در دیگ‌های بخار بدون تجهیزات دی‌اریتور. این برنامه پیچیده‌تر نیاز به یک سیستم تغذیه دقیق‌تری دارد. ترکیبات قلیایی و فسفات‌ها باید به طور مستقیم به دیگ افزوده شوند تا از رسوب‌گذاری در خط آب مصرفی و آسیب رسیدن به پمپ‌های تغذیه جلوگیری شود. تصویر (38)، اجمالا نحوه به کارگیری مستقیم این روش را در مورد دیگ‌ها با نسبت‌های وابسته به آب مصرفی نشان داده است.

سیستم افزودن تناسبی مواد در دیگ‌های بخار با تجهیزات اکسیژن‌زدا. در صورتی‌که تجهیزات دی‌اریتور نصب شده باشند، بهتر است که ترکیبات آماده‌سازی آب برای جلوگیری از خوردگی و خوردگی شیمیایی را به طور مستقیم در بخش



تصویر (38): سیستم افزودن تناسبی مواد بدون دی‌اریتور

ذخیره‌سازی تجهیزات اکسیژن‌زدا وارد کرد. برخی از سازندگان تجهیزات دی‌اریتور درصورتی‌که از فسفات‌ها و یا سایر مواد قلیایی استفاده شود، در مورد وارد کردن ترکیبات شیمیایی به درون بخش ذخیره‌سازی دستگاه هشدار می‌دهند زیرا این نوع مواد می‌توانند در محل‌هایی قبل از دیگ رسوب ایجاد کنند و به مخزن دی‌اریتور، پمپ آب مصرفی دیگ و خطوط ارتباطی آسیب وارد کنند. در این صورت ترکیبات فسفات‌دار و قلیایی باید به طور مستقیم وارد دیگ شوند و فقط تمیزکننده اکسیژن و آمین یا سایر مواد ضد رسوب‌سازی در قسمت‌های قبل از دیگ استفاده شوند. معمولا با این توضیح‌ها دیگر از طرف سازنده شکایتی نخواهد بود. تصویر (39) این روش را شرح داده است.

دمیدن هوا به طور اتوماتیک و کنترل‌کننده‌های تغذیه مواد. از اینجایی که ضوابط انجمن ASME (جامعه آمریکایی مهندسان مکانیک) نصب شیرهای اتوماتیک روی خط دمیدن رو به پایین را ممنوع کرده است، استفاده از کنترل‌کننده‌ها و شیرهای

تصویر(39): سیستم تغذیه تناسبی مواد مجهز به دی‌اریتور

اتوماتیک به خط دمیدن از کنار و یا بالا محدود می‌شود. دمیدن از کنار و بالا منحصرا به منظور کنترل جامدات محلول اســتفاده می‌شود، زیرا این عمل جامدات معلق را که در کف دیگ نشسته‌اند دفع نمی‌کند. حتا وقتی‌که کنترل‌کننده‌های بالایی عمل دمیدن نصب شده است، کماکان برای دفع ذرات جامد معلق و نشسته در کف باید اقداماتی انجام شود. بلوداون[1] بالا هرگز نباید به عنوان جایگزین بلوداون کف اعمال شود.

* * *

1. Blowdown

آماده‌سازی آب سیستم‌های بازچرخانی مدار باز

مشکل عمده در سیستم‌های سرمایش مدار باز، خوردگی و تجمع جرم، آشغال، لای و لعاب مواد آلی یا ریشه جلبک است. در سیستم‌های مدار باز به علت تبخیر و وزش باد، اتلاف آب وجود دارد. آب هدر رفته بر اثر وزش باد همان کیفیت آب چرخشی در سیســـتم را دارد یعنی دارای همان مقدار مواد معدنی محلول و ناخالصی‌های آب چرخشی است، اما آبی که بر اثر تبخیر تلف می‌شود کیفیت متفاوتی خواهد داشت.

حاصل تبخیر آب چرخشـــی، آب خالص و مشـــابه آب مقطر خواهد بود و از نظر تئوری هیچ‌گونه مواد معدنی و یا جامدات حل شده همراه ندارد و فقط قطره‌های آب همراه با آب تبخیر شده، هستند. این آب خالص حاصل از تبخیر، کلیه مواد معدنی محلول را در آب بازچرخش باقی می‌گذارد، زیرا این مواد با آب تبخیر نمی‌شوند.

آب اتلاف شده بر اثر تبخیر با افزایش آب جبرانی جایگزین می‌شود و آب جبرانی محتـــوی مواد معدنی و ناخالصی‌های حل شـــده در آن اســـت. در نتیجه با افزایش تدریجی آب جبرانی به سیستم، مواد معدنی به طور ثابت افزوده شده و تراکم‌هایی را تشکیل می‌دهند و به ناچار آب بازچرخش به حدی از مواد معدنی اشباع می‌شود که نمک‌های غیرقابل انحلال از ترکیب خارج شده و بر روی سطوح انتقال حرارت و یا در بخش‌های دیگر سیستم جرم‌هایی را تشکیل می‌دهد. برای اجتناب از این پدیده، آب بازچرخش باید از نظر میزان مواد معدنی محلول در آن، کنترل و محدود شـــود. این عمل با فرآیند زیرآب‌کشی (بلیدآف) انجام می‌شود.

زیرآب‌کشی. زیرآب‌کشی عبارت از دفع مستمر مقدار کمی آب محتوی مواد معدنی متراکم از سیســـتم سرمایش بازچرخانی اســـت. آبی که بر اثر وزش باد تلف می‌شود نیز محتوی مواد معدنی متراکم اســـت و می‌توان آن را بخشـــی از فرآیند زیرآب‌کشی محسوب کرد. عبارت «زیرآب‌کشی صفر» به وضعیت ایده‌آلی اطلاق می‌شود که در آن آب در اثر وزش باد به نحوی دفع می‌شود که مواد معدنی دفع شده همراه با قطره‌های آب اتلافی سبب پاک‌سازی آب شود و هیچ نیازی به اعمال فرآیند زیرآب‌کشی اضافی وجود نداشـــته باشـــد. هر چند که در اکثر موارد برای محدود کردن تجمع جامدات انجام زیرآب‌کشی اضافی ضروری است.

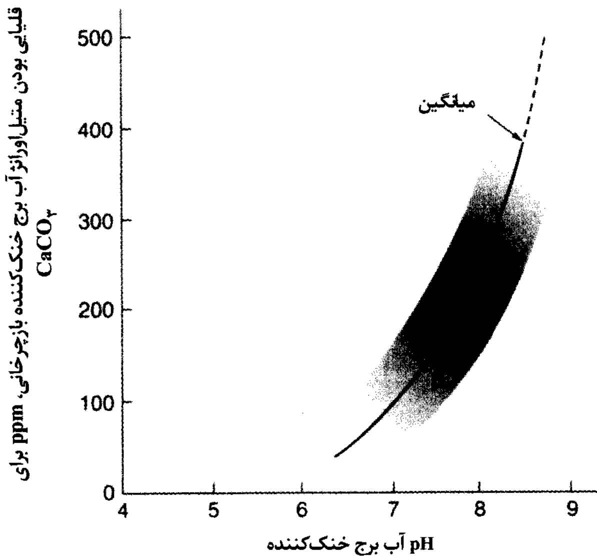
مشکل‌ســـازترین جرم معدنی، کربنات‌کلســـیم اســـت، زیرا این ترکیب کمترین

انحلال‌پذیری در آب سیستم بازچرخانی را دارد. بازدارنده‌هایی به منظور افزایش میزان انحلال کربنات‌کلسیم و سایر املاح معدنی به‌کار گرفته می‌شوند، اما حتا با وجود استفاده از این مواد بازدارنده، محدود کردن تراکم اضافی مواد معدنی با اعمال فرآیند زیرآب‌کشی الزامی است. فرآیند زیرآب‌کشی میزان تراکم قلیایی‌ها، سختی کلی آب و سیلیکا را نیز محدود می‌کند.

برای جلوگیری از رسوب جرمی کربنات‌کلسیم میزان قلیایی بودن باید محدود شود. خاصیت قلیایی بودن از بنیان بی‌کربنات و کربناتی که با کلسیم و منیزیم ترکیب شده و کربنات‌کلسیم و کربنات‌منیزیم تشکیل می‌دهد ناشی می‌شود (کربنات‌کلسیم که ضریب انحلال کمتری نسبت به کربنات‌منیزیم دارد، اول تشکیل می‌شود). قلیایی بودن، نه تنها به منظور جلوگیری از رسوب کربنات‌کلسیم بلکه برای ممانعت از شرایط pH بالا که به بخش‌هایی از سیستم که شامل فولاد گالوانیزه، برنج و یا اسکلت چوبی برج خنک‌کننده آسیب می‌رساند نیز باید محدود شود.

در شرایطی که قلیایی بودن به میزان 500 میلی‌گرم در لیتر است، مقدار pH آب برج خنک‌کننده تقریبا 8.7 پیش‌بینی می‌شود. این ارزیابی بر اساس میانگین pH آب برج خنک‌کننده است و در تصویر (40) نشان داده شده است. این نمودار میانگین مقدار pH پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد که این مقدار با شرایط جوی تغییر می‌کند. مثلا، اگر جوی دارای مقادیر قابل توجهی دی‌اکسیدکربن با دی‌اکسیدگوگرد باشد، در این‌صورت این گازها تمایل به خنثا نمودن خاصیت قلیایی آب برج خنک‌کننده دارند. به این دلیل میزان قلیایی بودن آب برج خنک‌کننده همواره حاصل جمع ریاضی ضرایب قلیایی آب جبرانی نیست و بنابراین شرایط از نقطه‌ای به نقطه دیگر تفاوت می‌کند و حداکثر میزان قلیایی بودن در حد 500 تا 800 میلی‌گرم در لیتر برای کربنات‌کلسیم فقط به عنوان یک معیار راهنما تعیین شده است.

زنگار سفید. یکی از معمولی‌ترین مشکلات ناشی از قلیایی بودن بالا پدیده «زنگار سفید» است. زنگار سفید حاصل خوردگی فلز روی، کربنات‌روی ($ZnCo_3$) و بنیان کربنات‌روی **[$3Zn(O_2H)ZnCO_3H_2O$]** است. این مواد به شکل جرم مومی سفیدرنگی بر روی سطوح فلزی گالوانیزه برج خنک‌کننده تجمع می‌کنند. زنگار سفید پدیده پیچیده‌ای است که بر اثر خاصیت قلیایی بالا در آب برج خنک‌کننده و خاصیت



تصویر (40): میانگین pH آب برج خنک‌کننده به طور معمول 90 درصد میزان pH در محدود نوار سایه‌دار است. (کتاب راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش 5. «تامین آب»)

بازفعالی شدید در ورقه‌های فلزی گالوانیزه‌ای که به نحوی ضعیف غیرفعال می‌شوند و پیامد تغییر اجرا شده در فرآیند گالوانیزاسیون از اواسط دهه 80 است، ناشی می‌شود (مرجع 22).

این مشکل را می‌توان با تمیز و فعال کردن برج ساخته شده از فلز روی گالوانیزه پیش از راه‌اندازی به وسیله یک تمیزکننده شامل ترکیبات فعال‌کننده فسفات، کنترل کرد. استفاده از بازدارنده‌های خوردگی که محتوی فسفات یا فسفانات هستند و تثبیت مقدار pH آب برج به میزان 7.0 تا 8.0 باید در این برنامه اجرا شود.

مقدار کلی سختی آب برای جلوگیری از تشکیل جرم سولفات‌کلسیم، باید محدود شود. سولفات‌ها به طور طبیعی در آب بازچرخش وجود دارند و یا برای کنترل pH به شکل اسیدسولفوریک به آب اضافه می‌شوند.

زمانی‌که تجمع سختی‌های کلسیمی بیش از میزان انحلال سولفات‌کلسیم شد، از محلول خارج خواهد شد. در این صورت بازدارنده‌ها با تشکیل یک محلول فوق

اشباع شده، ضریب انحلال املاح کلسیم را افزایش می‌دهند. اما فرآیند زیرآب‌کشی برای حداکثر محدودسازی باید اجرا شود.

وقتی‌که سختی‌ها به شکل کربنات یا بی‌کربنات وجود دارند، حد کلی سختی کربنات‌کلسیم معمولا 400 تا 600 میلی‌گرم در لیتر است. اما در جایی‌که از اسید سولفوریک استفاده می‌شود و یا نمک سولفات (که از نظر حداقل حلالیت دومین نمک کلسیم است) به طور طبیعی به مقدار زیاد در آب وجود دارد (در آب بعضی چاه‌ها) این میزان معیار کمی بالاتر است.

اگر میزان سولفات‌کلسیم از 1200 تا 1500 میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند (نسبت به میزان کربنات‌کلسیم محاسبه شود) در این صورت تمایل به رسوب دارد و یا وابسته به ترکیبات شیمیایی آب، محلول اشباع شده تشکیل می‌شود. بازدارنده‌های جرم می‌توانند حلالیت را از بیشترین حد طبیعی افزایش دهند و تا 1.6 برابر حالت اشباع برسانند، اما معیار 1200 میلی‌گرم در لیتر به طور معمول برای محدود کردن چرخه تراکم و کنترل شرایط نامطلوب استفاده می‌شود.

سیلیکا نیز باید برای جلوگیری از تشکیل جرم سیلیکا محدود شود و معیار حلالیت سیلیکا در شرایط دما است. محدود کردن مقدار سیلیکا بر اساس حلالیت دی‌اکسیدسیلیس (SiO_2) در دمای تعیین شده برای سیستم خنک‌کننده در مجموعه تهویه مطبوع انجام می‌شود. سیلیکا به طور معمول تا حد تقریبی 150 میلی‌گرم در لیتر قابل حل است. در صورت تراکم بیش از این اندازه، از مایع خارج می‌شود. سایر عوامل، مانند وجود یک جرم‌گیر، حضور نمک منیزیم و یا سایر املاح معدنی و قلیایی بودن آب بر تراکم معیار تاثیر می‌گذارند، اما در صورتی‌که عامل اصلی سیلیکا باشد، این معیار محدودکننده معمولا به عنوان راهنمای تعیین حداکثر چرخه‌های تراکم‌های مجاز به‌کار برده می‌شود.

سطوح حداکثر سختی‌های قلیایی و سیلیکا پیشنهادی با استفاده از جرم‌گیر در جدول (11) نشان داده شده‌اند.

پس از برقرار شدن معیارهای محدودکننده برای حداکثر مواد معدنی محلول در آب یک سیستم سرمایش بازچرخانی، ضروری است که با فرآیند زیرآب‌کشی مقدار این مواد معدنی در حد مجاز حفظ شوند. برای اطلاع از میزان حداکثر تراکم‌ها به

جدول (11): حداکثر تراکم مواد جامد معدنی برای برج‌های خنک‌کننده، چگالنده‌های تبخیری، هواشوها و دستگاه‌های کوئل افشانه‌ای

قلیایی بودن کل، کربنات‌کلسیم	500 میلی‌گرم در لیتر
سختی کلی به شکل کربنات‌کلسیم	1200 میلی‌گرم در لیتر
سیلیکا به شکل دی‌اکسیدسیلیس	150 میلی‌گرم در لیتر

جدول (11) مراجعه کنید. حداکثر چرخه تراکم توصیه شده برای هر یک از مواد که در جدول (11) فهرست شده‌اند، از تقسیم مقادیر حداکثر ذکر شده در این جدول بر مقدار دریافت شده از هر یک از مواد در نتیجه تجزیه آب جبرانی به‌دست می‌آید. برای تشریح چگونگی محاسبه، نتیجه تجزیه آب شهرها ریسبورگ ایالت پنسیلوانیا را در نظر می‌گیریم (تصویر 41) و حداکثر چرخه تراکم قابل قبول برای سیستم برج خنک‌کننده در این شهر را تعیین می‌کنیم.

در زیر حدود ناخالصی‌ها یا وجود آن ناخالصی در آب جبرانی به منظور تعیین حداکثر چرخه‌های تراکم، مقایسه شده‌اند.

نتایج تجزیه حداکثر چرخه‌های تراکم

قلیایی بودن:

$$\times 3 = \frac{\text{میزان حداکثر}}{\text{مقدار موجود در آب جبرانی}} = \frac{\text{500 میلی‌گرم در لیتر}}{\text{167 میلی‌گرم در لیتر}}$$

سختی:

$$\times 8 = \frac{\text{میزان حداکثر}}{\text{مقدار موجود در آب جبرانی}} = \frac{\text{1200 میلی‌گرم در لیتر}}{\text{149 میلی‌گرم در لیتر}}$$

سیلیکا:

$$\times 15 = \frac{\text{میزان حداکثر}}{\text{مقدار موجود در آب جبرانی}} = \frac{\text{150 میلی‌گرم در لیتر}}{\text{10 میلی‌گرم در لیتر}}$$

از جدول (11) درمی‌یابیم که حداکثر چرخه تراکم × 3 توصیه شده است. در این تحلیل از کمترین مقدار استفاده می‌شود، زیرا در مقادیر متجاوز از آن، مشکل ناخالصی ذره‌ای نتیجه می‌شود. در این وضعیت، قلیایی بودن آب دلیل مضاعفی



THE METRO GROUP, INC.

50-23 Twenty-Third Street
Long Island City, NY 11101
(718) 729-7200
FAX: (718) 729-8677

CERTIFICATE OF ANALYSIS
WATER ANALYSIS

Divisions:
Metropolitan Refining
Consolidated Water Conditioning
Cosmopolitan Chemical
Petro Con Chemical

CLIENT: DATE:
ADDRESS: REPRESENTATIVE: SAMPLE DATE:
HARRISBURG, PA   ANALYSIS NO.: 359065   SOURCE: CITY

pH			7.6	PHOSPHATE	PO_4	mg/L	
P ALKALINITY	$CaCO_3$	mg/L		MOLYBDATE	Na_2MoO_4	mg/L	
FREE CARBON DIOXIDE	CO_2	mg/L		NITRITE	$NaNO_2$	mg/L	
BICARBONATES	$CaCO_3$	mg/L	167.	ZINC	Zn	mg/L	
CARBONATES	$CaCO_3$	mg/L		SPECIFIC CONDUCTANCE	micromhos/cm		816.
HYDROXIDES	$CaCO_3$	mg/L		TOTAL DISSOLVED SOLIDS		mg/L	501.
M (Total) ALKALINITY	$CaCO_3$	mg/L	167.	SUSPENDED MATTER			
TOTAL HARDNESS	$CaCO_3$	mg/L	149.	BIOLOGICAL GROWTHS	TOTAL BACTERIA COLONIES/ML		
SULFATE	SO_4	mg/L		SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C			
SILICA	SiO_2	mg/L	10.	FREEZING POINT			
IRON	Fe	mg/L			% BY WEIGHT		
CHLORIDE	NaCl	mg/L	187.				
ORGANIC INHIBITOR	PHOSPHONATE	mg/L					

RESULTS:

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED

REMARKS:

تصویر (41): نتیجه تجزیه آب شهر هاریسبورگ، پنسیلوانیا

برای رســوب‌گذاری نمک‌های کربنات و یا شــرایط pH بیش از حد می‌شود. اگر یک اسید خنثاساز در سیستم محتوی این نوع آب استفاده شود، خاصیت قلیایی بودن کاهش خواهد یافت و دیگر عامل محدودکننده محســوب نخواهد شد، علاوه بر این در این حالت حداکثر چرخه‌های تراکم به عدد 8.0 که رده دوم جدول است، افزایش می‌یابد.

پس از این‌که میزان حداکثر چرخه‌های تراکم مجاز در سیستم سرمایش بازچرخانی تعیین شــد، نرخ فرآیند زیرآب‌کشی لازم برای حفظ تجمع جامدات به میزان پایین‌تر

از حداکثر قابل محاسبه است. رابطه مکانیکی محاسبه نرخ زیرآب‌کشی نسبت به نرخ تبخیر در یک سیستم سرمایش باز عبارت است از:

$$B = \frac{E}{C-1}$$

که در این رابطه:

B= نرخ زیرآب‌کشی، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

E= نرخ تبخیر، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

C= تعداد چرخه‌های تراکم

هدف از اعمال فرآیند زیرآب‌کشی دفع مواد جامد محلول در آب به منظور تامین سطح مجاز حداکثر تعیین شده با در نظر گرفتن حداکثر تعداد چرخه تراکم توصیه شده است. برای رسیدن به این مقدار ثابت حداکثر میزان مواد جامد، مقدار جامداتی که وارد سیستم می‌شوند باید با مقدار مواد جامدی که از سیستم خارج می‌شوند، برابر باشد.

این معادله از نظر ریاضی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$BCX = MX$$

(مواد جامد ورودی) = (مواد جامد خروجی)

که در این معادله:

C= تعداد چرخه‌های تراکم

B= نرخ زیرآب‌کشی، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

M= آب جبرانی، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

X= تراکم مواد جامد در آب جبرانی (ppm، میلی‌گرم در لیتر یا گرم در گالن)

نرخ آب جبرانی در سیستم سرمایش مدار باز با بار سیستم متناسب است و معادل حاصل جمع نرخ تبخیر و هر نوع اتلاف بر اثر وزش باد، سرریز یا زیرآب‌کشی است.

رابطه زیر بیان‌کننده این تناسب است:

$$M = E + B$$

که در این رابطه M کل نرخ آب جبرانی و E نرخ تبخیر است. با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه (1) خواهیم داشت:

$$BCX = (E + B)X$$

این رابطه را برای B حل می‌کنیم:

$$B = \frac{E}{C-1}$$

بنابراین زیرآب‌کشـــی معادل کل اتلاف آب از سیستم بازچرخانی به‌صورت نشتی پمپ، سرریز شدن، اثر وزش باد و زیرآب‌کشی واقعی است. مجموع کلیه این عوامل باید به‌میزانی باشـــد تا تعداد چرخه‌های تراکم را پایین‌تر از حداکثر توصیه شده حفظ کند. برای ارزیابی مطلوب بودن کل زیرآب‌کشـــی در یک سیســـتم، تعداد چرخه‌های تراکم با یک آزمایش ساده کلرید اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین اندازه‌گیری کلریدها در آب بازچرخش، دقیقا نشان‌دهنده میزان تراکم آب جبرانی سیستم است.

تعداد چرخه‌های تراکم با مقایسه میزان کلریدهای موجود در آب جبرانی با میزان کلریدهای موجود در آب بازچرخش به‌دست می‌آید:

$$\text{تعداد چرخه‌های تراکم} = \frac{\text{میزان کلریدهای موجود در آب بازچرخش}}{\text{میزان کلریدهای موجود در آب جبرانی}}$$

کنترل جرم. برای جلوگیری از به‌وجود آمدن جرم بر اثر نمک‌های معدنی اعمال فرآیند زیرآب‌کشـــی ضروری است. مواد بازدارنده جرم برای به حداقل رساندن اتلاف آب در فرآیند زیرآب‌کشـــی و نگهداری تراکم جامدات در شـــرایط مطلوب مندرج در جدول (9)، نیز باید اســـتفاده شـــوند. بدون مواد بازدارنده جرم، حفظ میزان تجمع قلیایی بودن بی‌کربنات و سختی آب در حد پایین‌تر از مقادیری که در جدول (11) ذکر شده‌اند، غیرممکن خواهد بود.

تغذیه اســـید. یکی از روش‌های جلوگیری از تشکیل جرم، استفاده از اسید برای کنترل شاخص اشباع لانگلیر است. اسید خاصیت قلیایی بی‌کربنات را خنثا می‌کند. اســـیدها می‌توانند برای حفظ pH آب به میزان نزدیک 7.0 همراه با پایین نگه‌داشتن خاصیت قلیایی آب در زیر حد اشباع استفاده شوند. در این روش، کنترل بسیار دقیق pH و خاصیت قلیایی بودن ضروری است و مهم‌تر از آن کنترل و دقت در زدودن اسید است تا از شرایط افزایش خوردگی ممانعت شود.

نرم‌کننده‌های آب. یکی دیگر از روش‌های کنترل جرم در سیستم‌های بازچرخانی مدار باز استفاده از نرم‌کننده‌های آب با خاصیت تبادل یونی است. با کاهش سختی آب، بدون افزایش pH در شـرایط اشـباع، می‌توان تعداد چرخه‌های تراکم بیشتری ایجـاد کرد. هر چند که برای تاثیر بیشـتر این روش باید افزودن هم‌زمان اسـید به منظور کاهش خاصیت قلیایی آب نیز انجام شود. بنابراین نتیجه می‌شود که این روش مزیتی نسـبت به کاهش خاصیت قلیایی بودن بدون اسـتفاده از نرم‌کننده‌ها ندارد. نرم‌کننده‌های تبادل یونی در حد بازدهی کمتر از 100 درصد در سراسر چرخه فرآیند نرم‌کنندگی عمل می‌کنند. بنابراین مقادیر ناچیزی از سختی‌ها قبل از تشکل مجدد در مقابل نرم‌کننده‌ها بی‌اثر باقی می‌مانند.

به کارگیری بازدارنده‌های شیمیایی در سیستم‌های بازچرخانی مدار باز

بازدارنده جرم، متلاشی‌کننده‌ها و ترکیبات کنترل‌کننده رسوب. اقتصادی‌ترین و موثرترین روش کنترل جرم اسـتفاده از مواد بازدارنده جرم همراه و یا بدون کاهش خاصیت قلیایی بودن اسـت. مواد بازدارنده جرم با افزوده شـدن به میزان خیلی کم 1 تـا 20 میلی‌گرم در لیتر به آب بازچرخش سیسـتم، تمایل به ایجاد جرم را کاهش خواهند داد. این کاهش میزان تشکل جرم‌ها با حفظ نمک‌های تشکیل‌دهنده جرم موجود در محلول به مقدار کمتر از حد اشباع و جلوگیری از ایجاد محلول‌های فوق اشـباع شده یا دخالت در فرآیند رشد کریستال‌های جرم‌زا و تولید جرم و یا متلاشی کردن ذرات متشکله جرم و ممانعت از چسبیدن آن‌ها به سطوح محیط انتقال حرارت قابل اجرا اسـت. بازدارنده‌های جرم در عمل باید هر سـه هدف را برآورده کنند و از تشـکیل نمک‌های کربنات، سیلیکات، سولفات، کلسیم و منیزیم جلوگیری کنند. مواد بازدارنده جدید نیز کنترل‌کننده رسـوب‌های معمولی و خاص و تشـکیل انواع جرم‌ها و حتا اجرام بیولوژیکی هستند.

اولین ماده بازدارنده جرم مورد اسـتفاده هگزامتافسفات‌سـدیم بود که با افزوده شدن به میزان 2 تا 3 میلی‌گرم در لیتر از رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم در محلول‌های فوق اشـباع شـده جلوگیری می‌کرد. این پدیده درمان آسـتانه‌ای[1] نامیده شده زیرا پلی‌فسـفات میزان کربنات‌کلسـیم موجود در محلول را در حد آستانه رسوب‌گذاری

1. *Threshold Treatment*

حفظ می‌نماید.

پس از آن، هگزامتافسفات‌سدیم را در آماده‌سازی آب سرمایش به‌کار بردند و این پلی‌فسفات به طور گسترده‌ای به عنوان بازدارنده جرم و خوردگی مورد استفاده قرار گرفت. هنوز پلی‌فسفات‌هابه میزان 0.5 تا 5 میلی‌گرم در لیتر به منظور جلوگیری از تشکیل جرم در سیستم‌های کندانسور به‌کار برده می‌شوند. با وجود این چند عیب اجرایی در مورد بازدارنده‌های جرم پلی‌فسفاتی مطرح می‌شوند. این مواد به هیدرولیز شدن و ایجاد ارتوفسفات تمایل دارند که این خاصیت تاثیر بازدارندگی آستانه‌ای جرم را از بین می‌برد. در واقع، رسوب‌گذاری ارتوفسفات‌های کلسیم و منیزیم می‌تواند سبب ایجاد جرم‌های نرم بر روی سطوح محیط انتقال حرارت شوند که این جرم‌ها «لای» نامیده می‌شوند. علاوه بر این، افزودن بیش از حد پلی‌فسفات‌ها به میزان بیش از 20 میلی‌گرم در لیتر می‌تواند موجب تشکیل گل‌ولای غیرقابل انحلال فسفات‌کلسیم شود و در نهایت، توانایی فسفات‌ها در حفظ کربنات کلسیم موجود در محلول سبب کاهش شدید pH در شرایطی که باید میزان pH بالا باشد (بیش از 8.0) در آب سیستم بازچرخانی می‌شود. از اینجایی‌که در دهه 1960 سایر بازدارنده‌های جرم (مواد برتر) تولید و محصولات جدید به تدریج وارد بازار شدند. پلی‌اکریلیت (و مشتقات کوو تری‌پلیمر آن)، فسفانات، اسید پلی‌مالئیک و اسید فسفینوکاربوکسیلیک نشان دادند که بدون داشتن عیوب ذکر شده از پلی‌فسفات‌ها بازدهی و تاثیرگذاری بهتری دارند. پلیمرهای سنستیک مانند پلی‌اکریلیت‌های با وزن مولکولی پایین، پلی‌متاکریلیت‌ها، پلی‌مالائیت‌ها، پلی‌هیدورکسیل الکیل اکریلیت و پلی‌اکریلامیدها با پلی‌فسفات‌ها و سایر مواد غیرآلی ترکیب شدند تا مواد بازدارنده چندمنظوره را تولید کنند. تعدادی از پراستفاده‌ترین مواد آلی برای جلوگیری از تشکیل جرم و کنترل خوردگی شامل فسفات‌های آلی مختلف هستند. فسفات‌های HEDP، ATMP و PBTC به مقادیر بسیار کم (3 تا 5 میلی‌گرم در لیتر به عنوان مواد «فعال») به طور اختصاصی در درمان‌های آستانه‌ای و دگرگون‌سازی کریستال‌ها به منظور جلوگیری از فرآیند رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم، سولفات و فسفات استفاده می‌شوند.

کلیه پلیمرها، فسفانات‌ها و فسفات‌های آلی مزیت شاخص و عالی در جلوگیری از تشکیل جرم در دامنه وسیعی از شرایط pH و دما بدون عیوب ذکر شده در مورد فسفات‌های غیرآلی را دارند. بسیاری از پلیمرها، کوپلیمرها و ترپلیمرهایی که امروزه

مورد استفاده قرار می‌گیرند در تشکیل گل‌ولای روی، آهن و فسفات و تثبیت شرایط آب یا کنترل مواد رسوب‌زا بسیار موثر بوده و مشابه مواد ابتدایی در جلوگیری ایجاد جرم کربنات‌کلسیم نیز کارساز هستند.

بازدارنده‌های خوردگی. مشابه دیگ‌ها، فرآیند خوردگی در سیستم‌های سرمایش آبی باز نیز با ترکیبات تثبیت‌کننده محیط فرآیند و بازدارنده خوردگی، کنترل می‌شود. در سیستم‌های سرمایش باز به علت این‌که سیستم‌ها به طور مستمر اکسیژن‌زدایی می‌شوند، دفع اکسیژن با دستگاه‌های اکسیژن‌زدا مقرون به‌صرفه نیست. بنابراین از مواد بازدارنده خوردگی موثر در محیط‌های محتوی اکسیژن باید استفاده شود.

سیستم‌های سرمایش بازچرخانی برخلاف دیگ‌ها، محتوی انواع فلزها و آلیاژها هستند و شرایط عمل ایجاد شده و بازدارنده‌های مورد استفاده باید با این سیستم چندفلزی سازگار باشند. مشکل خاص این سیستم‌ها، خوردگی گالوانیک حاصل از کوپل‌های بای متال است.

فرآیندهای آماده‌سازی در مورد سیستم سرمایش بازچرخانی در وهله اول باید شامل یک عامل کنترل‌کننده pH برای کنترل جرم و خوردگی باشند. معمولا مقدار pH در دامنه 6.5 تا 9.0 وابسته به نوع خوردگی و ماده بازدارنده جرم مورد استفاده، ایجاد می‌شود. مقادیر pH کمتر از این حد سبب می‌شود که آب بازچرخش بیش از اندازه خورنده شود و مقادیر بالاتر از این حد سبب خوردگی امفوتریک[1] فلز (در روی، برنج و آلومینیم) و ایجاد شرایط تشکیل جرم می‌شود.

در مناطق جغرافیایی که محیط جو به نحوی است که شرایط اسیدی در سیستم‌های بازچرخانی باز ایجاد می‌شود، مواد خنثاکننده نظیر سود سوزآور و کربنات‌سدیم (جوش شیرین) به منظور تامین مقدار pH در دامنه خنثا مطلوب می‌توان استفاده کرد. شرایط مذکور در مناطق وسیع شهری و یا مناطقی که در مجاورت دود اسیدی حاصل از دودکش دیگ‌ها و سوختن مواد قرار دارند ایجاد می‌شوند. برخلاف این، در مناطقی که آب جبرانی بیش از حد قلیایی است، برای تامین pH مناسب به منظور کنترل جرم، افزودن اسید به آب طبق آن‌چه گذشت ضروری است. در دامنه pH معادل 6.5 تا 9، با افزودن مواد بازدارنده خوردگی به آب بازچرخش می‌توان فرآیند خوردگی را تحت کنترل قرار داد. بازدارنده‌ها، موادی هستند که شرایط محیطی

1. *Amphoteric*

را الزامــا تغییــر می‌دهند و مانند مانعی مابین محیط خورنده و ســطوح فلزی عمل می‌کنند. این مواد هنگام افزوده شــدن به آب بازچرخش با انجام واکنش شیمیایی با ســطح فلز و یا جذب فیزیکی یا شــیمیایی بر روی سطوح فلز، تشکیل‌دهنده یک مانع محافظ هستند. یک فلز فعال به واکنش خورندگی با استفاده از بازدارنده‌هایی که بدین ترتیب روی ســطح آن عملکرد دارند، نسبت به خوردگی غیرفعال می‌شود. انواع گوناگون و ترکیبات متعددی به عنوان مواد بازدارنده در سیستم‌های سرمایش باز مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی این مواد به چهار گروه اصلی مولیبدات، روی، فسفات و بازدارنده‌های آلی طبقه‌بندی می‌شوند.

بازدارنده‌های مولیبدات. این نوع بازدارنده‌ها بر اســاس خاصیت مولیبدات به عنوان یک اکســیدکننده ضعیف برای فلزهای آهنی و تشــکیل‌دهنده لایه غیرفعال اکســیدی عمل می‌کنند. مولیبدات‌هــا در ترکیب با ســایر بازدارنده‌ها نظیر روی، فســفات و منشا آلی و به منظور ایجاد اثر چندگانه برای داشتن بهترین فرمول‌بندی در جلوگیری از خوردگی به‌کار می‌روند. این فرمول‌بندی‌های ترکیبات بازدارنده دارای تاثیر کلی بهتری نسبت به مجموع تاثیرات جداگانه مواد هستند و مخلوط چندگانه (سینرژســتیک بلند)[1] نامیده می‌شــوند. این ترکیب شــامل بازدارنده‌های خوردگی فلزهای غیرآهنی نظیر مرکاپتوبنزوتیازول[2]، بنزوتریازول و تولیل‌تریازول نیز خواهد بود. این مواد برای محافظت از آلیاژهای مس نظیر برنج زرد، برنج بستر و فلزات دریاداری (آدمیرالتی)[3] ضروری هستند. مخلوط‌های بازدارنده مولیبدات معمولا به میزان کم در سیســتم آبی سرمایش باز استفاده می‌شود و محلولی به غلظت 5 تا 10 میلی‌گرم سدیم‌مولیبدات تشکیل می‌دهند. علاوه بر این برنامه‌های متعددی در آماده‌سازی آب با به‌کارگیری پلیمرهای آلی (کلیه مواد آلی) اجرا می‌شوند که شامل مقادیر بسیار کمی مولبیدنوم هســتند و در منطقه جغرافیایی ما میزان 1 تا 1.5 ppm عنصر مولیبیدنوم در سیستم‌های سرمایش رایج است. مولیبیدنوم اصولا به عنوان شاخص آزمایشگاهی در نظر گرفته می‌شــود زیرا این عنصر به آســانی و دقت زیاد قابل اندازه‌گیری است. مزیــت دوم مولیبیدنوم، نقش آن به عنوان ماده افزودنی برای ایجاد عملکرد بهتر در

1. *Synergistic blends*
2. *Mercaptobenzo thiazole*
3. *Admiralty metal*

سـایر بازدارنده‌های آلی نظیر توتیل‌تریازول (TTA) برای فلز مس و اسیدهیدروکسی فسفینوکاربوکسیلیک (HPCA) برای آهن و فولاد است.

بازدارنده‌هـای روی. برخی از موثرترین بازدارنده‌ها از فلز روی به عنوان بازدارنده کاتدیک در ترکیب با سایر بازدارنده‌ها که تشکیل‌دهنده عامل تاثیرگذاری در مخلوط بازدارنده هسـتند، اسـتفاده می‌کنند. بعضی از مخلوط‌ها شـامل سیلیکات روی، فسـفات روی، مولیبیدات روی، پلی‌فسفات روی آلی و ترکیبات متنوع فسفات آلی روی هستند.

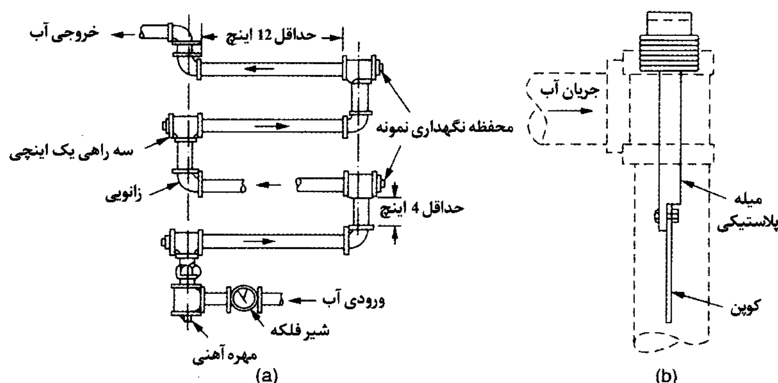
غلظت روی وابسـته به نوع فرمول‌بندی، معمولا در حد 2 تا 5 میلی‌گرم در لیتر حفظ می‌شود. استانداردهای آب قابل شرب در ایالات متحده، میزان فلز روی موجود در آب آشـامیدنی را 5 میلی‌گـرم در لیتـر محدود کرده اسـت و در مناطقی که این استاندارد اعمال می‌شود، میزان فلز روی باید کمتر از این مقدار حداکثر حفظ شود. در بعضی موارد، تخلیه فلز روی حتا به این میزان نیز می‌تواند برای حیات آبزیان سمی باشد. بنابراین تخلیه فاضلاب به درون برکه‌های ماهی، نهرها و سایر آب‌های عمومی حتـا باید محتوی این مقدار فلز روی نیز نباشـد. برخـی از ضوابط تخلیه فلز روی را محـدود به غلظت 1 میلی‌گرم در لیتر یا حتا کمتر می‌کند. در این‌گونه مواقع باید از بازدارنده‌های روی استفاده کرد.

بازدارنده‌های فسـفات. مخلوط بازدارنده فسـفات همراه با پلیمرهای بازدارنده از تشـکیل گل‌ولای فسـفات در سیسـتم‌های پیشـگیری از خوردگی قلیایی به‌کار برده می‌شـود. تولید بازدارنده‌ها و متلاشی‌کننده‌های بسیار موثر نظیر کوپلیمرهای اسیداکریلیک، پلیمراسیدسولفوریک، پلی‌استرن سولفونات شده و بازدارنده‌ها بنیان فسفات اسیدمالئیک مقبولیت شایان توجهی پیدا کرده است. میزان ارتوفسفات ایجاد شده از 5 تا 20 میلی‌گرم در لیتر متغیر است. این بازدارنده‌ها در pHهای بالا و قلیایی بسـیار موثر هستند و به طور معمول در pHهای 8 تا 9 مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مواقعـی که کنترل افزایش تولید جرم ضروری اسـت از فرمول‌بندی‌های شـامل مخلوط‌های پیشـرفته پلیمر و فسفات استفاده شـود. بازدارنده‌های آلی آزول فلزات غیرآهنی نیز برای تکمیل اثر حفاظتی ضروری هستند.

بازدارنده‌های آلی. این نوع بازدارنده‌ها مواد کاملا آلی هستند که از نظر بیولوژیکی می‌توانند تاثیرات متغیر داشـته و غیرآلاینده هستند. البته، این بازدارنده‌ها مقداری

مواد خارجی آلی به آب خروجی سیستم سرمایش اضافه می‌کنند ولیکن تغییر نسبی ترکیبات در آب خروجی مناسب‌تر از افزوده شدن مولیبیدات، فسفات یا ترکیبات روی است. بازدارنده‌های آلی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی و غیرآلی است که از نظر خاصیت بازدارندگی خوردگی، شناخته شده‌اند و در اختلاط با یکدیگر تمایل به تاثیرگذاری واحدی دارند. این مواد شامل آزول‌ها و اسیدهیدروکسی فسفینوکاربوکسیلیک هستند.

آزمایش خوردگی. اساس عملکرد نسبی انواع برنامه‌های موجود برای آزمایش خوردگی مبتنی بر گزارش‌های واقعی میدانی و بازبینی خوردگی‌ها است. این شاخص‌ها با قرار دادن کوپن‌های آزمایش خوردگی درون آب سیستم آبی سرمایش باز تعیین می‌شود. این روش آزمایش خوردگی از طرف اتحادیه ملی مهندسان متخصص خوردگی[1] تشریح شده است و شامل استاندارد اتحادیه ASTM در مورد «آزمایش خوردگی آب سرمایش صنعتی (روش آزمایش کوپن)» است. کوپن آزمایش در یک «غلاف» گذاشته شده و مشابه تصویر (42) در سیستم آب بازچرخانی قرار می‌گیرد.



تصویر (42): ابزار آزمایش کوپنی خوردگی

گزارش آزمایش خوردگی، شامل نرخ محاسبه خوردگی به واحد میلی‌اینچ در سال یا میکرون در سال و سایر اطلاعات مربوط نظیر عمق فرسودگی، تغییرات و

1. National Association of Corrosion Engineers (NACE)

نوع رسوب‌های خورنده خواهد بود. نرخ خوردگی برای فولاد نرم در مدت 30 روز در یک سیستم سرمایش بازچرخانی، به طور کلی طبق جدول (12) ارزیابی می‌شود. نرخ خوردگی فولاد نرم را می‌توان بر اساس طول عمر لوله فولادی 6 اینچی (152.4 میلی‌متر) استاندارد 40 (schedule) نیز با فرض این‌که خوردگی از محل اتصال شروع می‌شود، برآورد کرد (جدول 13).

جدول (12): نرخ خوردگی فولاد نرم در آزمایش 30 روزه

کنترل خوردگی	نرخ خوردگی mils/(MDD)*
ضعیف	>5 (>27.3)
خوب	2–5 (10.9–27.3)
عالی	0–2 (0–10.9)

*MDD = میلی‌گرم در دسی متر مربع در روز
منبع = مرجع شماره 10

جدول (13): ارزیابی نرخ‌های خوردگی برای فولاد نرم

کنترل خوردگی	نیمه عمر لوله فولادی 6 اینچی (152.4 میلی‌متر) استاندارد 40، واحد سال	نرخ خوردگی mils در سال (MDD)*
عالی	>70	0–2 (0–10.9)
خوب	70–28	2–5 (10.9–27.3)
مناسب	$28–17^1/_2$	5–8 (27.3–43.7)
ضعیف	$17^1/_2–14$	8–10 (43.7–54.6)
غیرقابل تحمل	<14	>10 (>54.6)

*MDD = میلی‌گرم در دسی متر مربع در روز

به همین ترتیب، نرخ خوردگی در لوله‌های مسی کندانسور با سنجه 6 (Gauge) برساس عمر مفید برآورد شده (با فرض این‌که خوردگی یکنواخت باشد) طبق جدول (14) قابل ارزیابی است. روند خوردگی پیش‌بینی شده با مواد بازدارنده خوردگی جدید (بدون کروم) موجود در بازار امروز به شرح زیر است:

فولاد کربن‌دار: صفر تا 2 میلی‌اینچ در سال

مس: صفر تا 0.2 میلی‌اینچ در سال

جدول (14): ارزیابی نرخ‌های خوردگی برای لوله مسی کندانسور

کنترل خوردگی	عمر ارزیابی شده لوله‌کشی مسی کندانسور با عیار 16، واحد سال	نرخ خوردگی، mils در سال (MDD)*
عالی	>65	0–1 (0–6.2)
خوب	$65–32^1/_2$	1–2 (6.2–12.4)
مناسب	$32^1/_2–21^2/_3$	2–3 (12.4–18.6)
ضعیف	$21^2/_3–16^1/_4$	3–4 (18.6–24.8)
غیرقابل تحمل	$<16^1/_4$	>4 (>24.8)

*MDD = میلی‌گرم در دسی متر مربع در روز

کنترل رشد مواد آلی آب در سیستم بازچرخانی باز

سیستم‌های آبی بازچرخانی باز دائما در معرض هوای آزاد و آلاینده‌های موجود در آن هستند. میکروارگانیسم بیولوژیکی نیز شامل این آلاینده‌های هوا می‌شوند که این‌گونه مواد در شرایط مناسب در آب گرم برج خنک‌کننده رشد و تغذیه می‌کنند. عمده‌ترین شکل ارگانیسم‌های بیولوژیکی ساکن در آب برج خنک‌کننده شامل گل‌ولای باکتری‌دار، جلبک و قارچ است. هاگ‌ها و تخم‌های این ارگانیسم‌ها که در جو وجود دارند به ذرات گرد و غبار و سایر ذرات هوازی می‌شوند. هنگامی‌که این نوع آلاینده‌ها توسط شسته شدن با آب برج خنک‌کننده از هوا جدا می‌شوند. محیط برج را مکانی مناسب برای رشد و تکثیر می‌یابند. رشد این موجودات سبب ایجاد مشکلات جدی از قبیل خوردگی، جرم‌گذاری، مسدود کردن مجاری و تسریع فرآیند تشکیل رسوب‌ها می‌شود. رشد این عوامل نه‌تنها سبب اخلال در جریان آب، بلکه موجب کاهش بازدهی انتقال حرارت و افزایش اتلاف انرژی نیز می‌شود.

رشد بیولوژیکی را با موادی که قابلیت محدود کردن رشد یا از بین بردن این نوع ارگانیسم‌ها را بدون آسیب وارد کردن به سیستم و یا محیط زیست دارند، می‌توان کنترل کرد. این مواد را میکروب‌کش، دفع‌کننده بیولوژیکی، دفع کننده گل‌ولای، جلبک‌زدا و قارچ‌زدا می‌نامند و از نظر طبقه‌بندی در رده آفت‌کش‌ها قرار دارند که از طرف آژانس حفاظت محیط زیست کنترل و ثبت شده‌اند. مواد آفت‌کشی که در آماده‌سازی آب سرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند را میکروب‌کش می‌نامند.

دوز ضدعفونی با این مواد به مقداری است که در صورت تماس محلول ضدعفونی با ارگانیسم در طول چند ساعت نابودی کامل حاصل شود. دوز بازدارنده عبارت است

از مقداری که رشد ارگانیسم را متوقف یا به حداقل برساند. دوز بیواستاتیک به مقداری اطلاق می‌شود که با اعمال آن (معمولا به طور مستمر) تعداد میکروارگانیسم‌ها در سطح پایین و قابل قبولی ثابت می‌ماند. به طور کلی، در دوزهای بیواستاتیک به علت نرخ پایین تغذیه به سیستم و هزینه کم در مقایسه با میکروب‌کش‌های غیراکسیدکننده فقط از میکروب‌کش‌های اکسیدکننده استفاده می‌شود.

میکروب‌کش‌های اکسیدکننده. عمده‌ترین میکروب‌کش مورد استفاده در سیستم‌های آبی بازچرخشی کلر است که این ماده یک میکروب‌کش اکسیدکننده است. استفاده بیش از حد از کلر سبب صدمه زدن به سازه‌های چوبی و مواد آلی به‌کار رفته شده در برج‌های خنک‌کننده می‌شود. معمولا این ماده در سیستم‌های بزرگ که مجهز به دستگاه‌های کنترل تغذیه کلر هستند، به‌کار برده می‌شود. وقتی کلر به صورت مستمر استفاده می‌شود، چگالی کلر آزاد باید در حد 0.3 تا 0.5 میلی‌گرم در لیتر حفظ شود تا از آسیب رسیدن به مواد سازه‌ای سیستم جلوگیری شود. به منظور تمیزکاری، تغذیه ضربه‌ای (شوک فید) تا 50 میلی‌گرم در لیتر، مشروط به این‌که این تراکم بالای کلر کمتر از 8 ساعت حفظ شود و سیستم به طور کامل آب‌شویی و تخلیه شود تا مواد آلی پسمانده و کلر اضافی دفع شوند، می‌تواند اعمال شود. استفاده از کلر تحت یک برنامه زمانی متناوب در جلوگیری از رشد ارگانیسم‌های بیولوژیکی ذره‌ای مشروط بر این‌که به طور هم‌زمان نواقص تغذیه مستمر کلر به حداقل برسد، نتایج موثری دارد.

کلر یک ترکیب اکسیدکننده قوی است و بنابراین خورنده فلزات و می‌تواند به سازه‌های چوبی و آلی برج خنک‌کننده صدمه وارد کند. علاوه بر این، کنترل تغذیه کلر به میزانی که در محدود ساختن رشد ارگانیسم‌ها موثر بوده و در عین حال به مواد سازه‌ای آسیب وارد نکند، بسیار مشکل است. امروزه، با توجه به این‌که ترکیب برم خاصیت خورندگی کمتری نسبت به کلر دارد و در دامنه pH مربوط به برج خنک‌کننده موثرتر عمل می‌کند، بیش از کلر استفاده می‌شود.

مواد میکروب‌کشی که به طور گسترده در برج‌های خنک‌کننده، هواشوها و سایر سیستم‌های آبی بازچرخانی باز به منظور تهویه مطبوع استفاده می‌شود شامل برم، ترکیبات آمونیم چهار واحدی، ترکیبات آلی گوگرد و آلدئیدها هستند. موثرترین

مخلوط شامل هیدروکسی‌فسفونواستات همراه با پلیمرهای آلی و تریازول است. سایر میکروب‌کش‌های موثر، ترکیبات مس ارگانوتین[1] همراه با ترکیبات آمونیم چهار واحدی و مخلـوط دی‌برومو 3- نیتریلو بـا ایزوتیازولین و 1- برومو 3- کلرو دی‌متیل‌هایدانتون هستند

میکروب‌کش‌های غیراکسیدکننده. این مواد بهترین کاربرد را در پاک نگه‌داشتن سیستم و پیشگیری دارند و در جلوگیری از رشد ارگانیسم‌ها به مراتب استفاده بیشتری تا از بین بردن و یا دفع ارگانیسم‌های موجود دارند. دوزهای ضدعفونی‌کننده این مواد قادر به از بین بردن ارگانیسم‌ها هستند، اما معمولا استفاده از ترکیبات نافذ در لایه‌های ارگانیسم، به ویژه در مواقعی که ارگانیسم‌ها جلبکی هستند به همراه این نوع مواد لازم می‌شود زیرا جلبک‌ها لایه‌ای ضخیم بر روی سطوح تجهیزات تشکیل می‌دهند.

تمیزکاری و ضدعفونی یک سیستم آبی خنک‌کننده آلوده شده نیاز به مقدار زیادی شست‌وشوی فیزیکی پرفشار و دفع مواد آلی برای جلوگیری از هجوم مجدد آلاینده‌ها به سیســتم دارند. باید دقت شود که محلول ضدعفونی از تمام شکاف‌ها و کنج‌های مسیر سیستم عبور داده شود تا از رشد دوباره و هجوم مجدد ارگانیسم‌ها جلوگیری شود. جدول (15) تعدادی از رایج‌ترین میکروب‌کش‌ها و دوزهای موثر در ضدعفونی و یا بازدارندگی برای اکثر ارگانیسم‌های یافت شده در سیستم‌های آبی بازچرخانی باز در فرآیند تهویه مطبوع را فهرست کرده است.

روش تغذیه میکروب‌کش‌ها به درون سیستم بسیار مهم است. اغلب اوقات تغذیه مستمر با دوزهای کم‌مواد بازدارنده موثر نبوده و می‌توانند بسیار پرهزینه نیز باشند. ارگانیسم‌ها، تمایل به ایجاد نوعی ایمن‌سازی در برابر یک عامل مهلک دارند و دوزهای کم حتا ممکن اسـت رشـد برخی از ارگانیسم‌ها را تسـریع کنند. بنابراین یک دوز ضربه‌ای (شوک) به مقدار بالا در از بین بردن باکتری‌ها، از دوز کم ولی مستمر، موثرتر است. علاوه بر این تغییر نوع ماده میکروب‌کش در زمان‌های کوتاه می‌تواند از ایجاد پدیده ایمن‌سازی در میکروب‌ها جلوگیری کند.

روش‌های نگهداری سیستم‌های تهویه مطبوع باید تنها در صورتی‌که تجربه‌های قبلی ضرورت را ایجاد می‌نماید شامل دوزهای ضربه‌ای متناوب با یک ماده میکروب‌کش باشند.

1. *Organotin Copper*

جدول (15): میکروب‌کش‌های رایج در روش‌های نگهداری سیستم‌های آبی بازچرخانی باز

نوع ارگانیسم‌های کنترل شده	دوز بازدارنده، ppm (میلی‌گرم در لیتر)	دوز استریلیزه کردن، ppm (میلی‌گرم در لیتر)	
		ترکیبات آمونیم چهار واحدی	
جلبک، کپک و باکتری	5-50	100-200	n- الکیل (60% کربن C_{14}، 30% کربن C_{16}، 5% کربن C_{18}، 5% کربن C_{12}) دی‌متیل بنزیل آمونیم کلرید
جلبک و گل‌ولای باکتری‌دار	2-20	100-200	ان الکیل (98% کربن C_{12}، 2% کربن C_{14}) دی‌متیل 1 نافیتلومتیل آمونیم کلرید
جلبک، قارچ و گل‌ولای باکتری‌دار	1-10	50-100	پلی (اکسی‌اتیلن) (دی‌متیل لیمینو) اتیلن (دی‌متیل لیمینو) اتیلن‌دی کلرید
جلبک، قارچ و گل‌ولای باکتری‌دار	1-10	50-100	مخلوط الکیل دی‌متیل (بنزیل آمونیم کلرید و اتیل‌بنزیل آمونیم کلرید)
		ترکیبات گوگرد آلی	
گل‌ولای باکتری‌دار و قارچ و کپک‌ها	10-20	50-100	نمک‌های دی‌متیل تیوکربامیت‌سدیم یا پتاسیم
گل‌ولای باکتری‌دار، قارچ و جلبک	2-10	50-100	متیلن بیس تیوسیانات
گل‌ولای باکتری‌دار و قارچ و کپک‌ها و جلبک	10-20	50-100	نمک‌های ان متیل‌دی تیوکربامیت سدیم یا پتاسیم

آزمایش باکتری‌ها. روش‌های آزمایشگاهی برای بازبینی آب بازچرخش و شمارش کلی باکتری‌ها و ارزیابی میزان استفاده از میکروب‌کش‌ها انجام می‌شوند. روش‌های میدانی شامل آزمایش نواری، میله عمق، آمپول شیشه‌ای IME و ابزارهای سنجش ATP هستند. روش‌های آزمایشگاهی شامل صفحه‌های شمارش است. نتایج آزمایش‌هایی که به طور دوره‌ای در طول کارکرد سیستم انجام می‌شوند، تاریخچه‌ای را تشکیل می‌دهند که با مراجعه به آن وجود هر افزایشی در تعداد باکتری‌ها در یک فصل خاص مشخص شده و بر اساس آن نیاز احتمالی به میکروب‌کش تعیین می‌شود. این آزمایش‌ها تاثیرگذاری برنامه میکروب‌زدایی در یک دوره زمانی را نیز تعیین کرده و زمان تغییر و یا تشدید برنامه اعمال شده را نشان می‌دهند.

نتیجه عملکرد برنامه میکروب‌کشی به شرح زیر ارزیابی می‌شود:

نتیجه عملکرد	شمارش کلی باکتری
کنترل عالی	صفر تا 10^2 کولونی در میلی‌لیتر
هشدار، بدون جرم شدید	10^2 تا 10^3 کولونی در میلی‌لیتر
حداکثر 10^4 از نظر بهداشتی، 10^5 در محیط‌های تجاری یا صنعتی	10^4 تا 10^5 کولونی در میلی‌لیتر
رسوب مشاهده شده و خطر احتمالی برای سلامتی	10^5 تا 10^6 کولونی در میلی‌لیتر
خطر جدی جرم و بیماری‌زایی	بالاتر از 10^6 کولونی در میلی‌لیتر

کنترل عفونت‌ها در سیستم‌های آبی بازچرخانی باز

کنترل عفونت‌های ویروسی در سیستم‌های آبی نیاز به آماده‌سازی و نظارت بر محیط سیستم دارد. در سال‌های اخیر، موارد انتشار بیماری‌های عفونی توسط ارگانیسم‌های بیماری‌زا و نقش سیستم‌های خنک‌کننده کثیف و یا دارای طراحی ساخت ضعیف آشکار شده است. رواج این طرز تفکر، پیگیری رسمی و اداری همراه با در نظر گرفتن امور مربوط به بهداشت و محیط زیست عمومی را باید به این آگاهی اضافه کرد. پیامد این آگاهی، اکنون قوانین و ضوابط زیادی مقرر شده‌اند که مالکان و کارگزاران امور اجرایی را ملزم به تغییر طراحی و تمیزکاری و ضدعفونی کردن سیستم‌های خنک‌کننده می‌کنند و علاوه بر این اجرای برنامه جامع آماده‌سازی آب و ضبط سوابق به روش بایگانی مناسب نیز الزامی است. این قوانین هنوز مشابه کشورهای اروپایی غربی و استرالیا و نیوزیلند شدید نیستند، اما با شواهد موجود در آینده‌ای نه چندان دور مشابه آن کشورها خواهند شد. در حال حاضر برنامه تمیزکاری مرتب و ضدعفونی طبق پروتکل ویسکانسین مطلوب است.

پروتکل‌های مربوط به برنامه‌های تمیزکاری و ضدعفونی. این پروتکل‌ها ممکن است با توجه به این‌که فرآیند ضدعفونی کردن بخشی از یک برنامه زمان‌بندی شده تعمیر و نگهداری است و یا یک اقدام فوری برای برطرف نمودن آلودگی، تغییر می‌کنند. به طور کلی روال ضدعفونی شامل سه مرحله است:

1. **مراحل کلرزنی اولیه.** به منظور تولید آب ضدعفونی شده انجام می‌شود. این آب پیش از شروع فعالیت تمیزکاری یا در مخزن جداگانه انبار می‌شود و یا در همان

آب موجود در برج خنک‌کننده کلرزنی می‌شود. معمولا اگر آب محتوی 20 ppm کلر در مدت حداقل 1 ساعت باشد، ضدعفونی شده محسوب می‌شود. مقادیر کمتر کلر نیاز به زمان بیشتری برای تولید آب ضدعفونی شده دارند.

2. **مرحله تخلیه و تمیزکاری.** در این مرحله آب به مدت 1 تا 4 ساعت چرخش داده می‌شود و سپس تخلیه شده تا از نظر فیزیکی سیستم تمیز شود. مواد متلاشی‌کننده بیولوژیکی (Biodispersants) نیز ممکن است در این مرحله استفاده شوند.

3. **مرحله ضدعفونی کردن، راه‌اندازی مجدد و آماده‌سازی مجدد آب.** سیستم در این مرحله مجددا آبگیری و برای مدت زمان لازم ضدعفونی شده و مجددا راه‌اندازی می‌شود. استانداردها متفاوت می‌باشند. معمولا برای عملیات تعمیر و نگهداری ادواری، آب ضدعفونی شده تلقی می‌گردد، اگر 5 ppm کلر به مدت حداقل 1 ساعت در آن وجود داشته باشد، اگر به علت مثبت بودن نتیجه آزمایش میکروب لژیونلا (Legionella) آب سیستم گندزدایی می‌شود، در این صورت میزان 10 ppm کلر به مدت حداقل 1 ساعت ضروری است. توجه داشته باشید که در اثنای اجرای هر نوع فرآیند تمیزکاری و ضدعفونی، با اعمال مواد ضدعفونی و یا متلاشی‌کننده، ممکن است مقادیری از اجسام جامد حرکت کرده و سطوح تراوا و مجاری فیلترها بسته شوند. کلیه فیلترها و سطوح تراوا را باید به طور ادواری در مدت انجام عملیات تمیزکاری و ضدعفونی اضطراری و معمولی مورد بررسی قرار دهید و در صورت نیاز تمیزکاری کنید. علاوه بر این، برای اطمینان از تماس مناسب کلر با کلیه سطوح و زوایای برج باید از عملکرد مطلوب نازل‌های افشانه و سایر اجزای مکانیکی سیستم مطمئن شوید. در مرحله آماده‌سازی مجدد آب، برنامه‌های برنامه‌سازی با مواد شیمیایی را منطبق با دستورالعمل‌های ارائه شده از طرف پیمان‌کار آماده‌سازی آب اجرا کنید. محصولات بازدارنده خوردگی و رسوب‌زدای مورد استفاده نباید با عملکرد ترکیبات میکروب‌کش در تاثیرگذاری بر لژیونلا تداخل پیدا کنند.

آزمایش لژیونلا. بازبینی کل تعداد باکتری‌ها در سیستم خنک‌کننده آبی، شاخص خوبی برای بازدهی برنامه میکروب‌کشی و تغییرات ساختاری احتمالی در سیستم است، هر چند که ارتباط تعریف شده‌ای مابین تعداد کل شمارش صفحه‌ای باکتری‌ها و وجود لژیونلا موجود نیست.

در مورد آزمایش لژیونلا، نتیجه مثبت کمتر از 1×10^2 در آب سرمایش، نشان‌دهنده این است که سیستم فقط قابلیت افزایش تعداد میکروب را دارد و بازرسی‌ها و آزمایش‌های مجدد در زمان‌های آتی نیز ضروری است. در صورتی‌که نتیجه مثبت بیش از 1×10^2 باشد، معنای آن این است که تمیزکاری و ضدعفونی کردن ضروری است. این اقدامات به ویژه برای نتیجه مثبت آزمایش میکروب لژیونلا نوموفیلا سرو[1] گروه یک تاکید می‌شود. اجرای عملیات مذکور بر اساس تعدادی مشخص از باکتری‌ها مفید نیست و چنانچه در طول برنامه‌های نمونه‌گیری و آزمایش بیش از 30% نمونه‌ها نتیجه مثبت داشتند، نشانه ضرورت اقدام است. نمونه‌های لژیونلا به اکثر آزمایش‌های بیوشیمیایی موجود برای شناسایی باکتری‌ها پاسخ نمی‌دهند و دستیابی به یک پاسخ مورد تایید از طریق روش‌های سرم‌شناسی یا اعمال آزمایش‌های بسیار دقیق میسر می‌شود. در حال حاضر چندین آزمایش اجرا می‌شوند که هر یک دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود هستند. این آزمایش‌ها شامل:

- روش استاندارد پرورش میکروب
- روش سنجش سریع لژیونلا
- روش آنتی‌بادی فلورسنت مستقیم[2]

بسیاری از مسوولان هنوز اجرای آزمایش‌های مرتب را توصیه نمی‌کنند و آزمایش‌های برنامه‌ریزی نشده و مقطعی نیز حداقل بازدهی را دارند و با این وجود باید به یاد داشته باشید که ارگانیسم لژیونلا می‌تواند مهلک باشد. بنابراین توصیه می‌شود که کلیه سیستم‌های سرمایش و سیستم‌های خنک‌کننده‌ای که برای مدت طولانی کاربری نداشته‌اند، از نظر میکروب لژیونلا مورد آزمایش قرار گیرند. همچنین توصیه می‌شود که کلیه سیستم‌های سرمایش به منظور تعیین خطرهای مربوط به لژیونلا مورد ارزیابی قرار گیرند. سیستم‌های خنک‌کننده‌ای که در وضعیت شدیدا مستعد تا متعادل قرار دارند، باید حداقل چهار بار در سال مورد آزمایش قرار گیرند سایر سیستم‌های خنک‌کننده باید طبق یک برنامه تعیین شده، دوبار در سال آزمایش شوند. نتایج این آزمایش‌ها به منظور داشتن جدیدترین اطلاعات بایگانی می‌شود تا هرگونه ناهنجاری شناسایی شود. این اطلاعات به تایید کیفیت آب و یا اجرای برنامه

1. *Legionella pneumophila sero-group 1*
2. *Direct Fluorescent Antibody (DFA)*

کنترلی جامع ضدعفونی کمک می‌کنند.

آزمایش لژیونلا نیاز به تکنیک‌های نمونه‌گیری خاصی دارد و معمولا برای یک نتیجه نیاز به 14 روز کاری پس از دریافت نمونه است. در صورت مثبت بودن نتیجه آزمایش، گزارشی از شناسایی گونه میکروب لژیونلا و طبقه‌بندی آن به عبارت گروه سرو[1] 1 تا 6 همراه با تعیین تعداد باکتری در هر 1 میلی‌لیتر از نمونه اصلی آب ارائه می‌شود.

کنترل گل‌ولای و سایر درمان‌ها

کنترل گل‌ولای و آشغال. رسوب‌های گل‌ولای، آشغال و سایر اجسام خارجی که از طریق هوای خارج به درون سیستم آب بازچرخانی باز نفوذ کرده‌اند می‌توانند مشکل جرم‌سازی را به‌وجود آورند و باید به منظور بازدهی مناسب تجهیزات انتقال حرارت کنترل شوند. در گذشته، نحوه برخورد با مشکل گل‌ولای، آشغال و رسوب‌های نرم شامل دفع فیزیکی آن‌ها توسط فیلترها و جداکننده‌ها و یا تمیزکاری دستی بود.

امروزه از پلیمرهای حل‌کننده برای شفافیت آب به آب سیستم‌های خنک‌کننده افزوده می‌شود که موفقیت فوق‌العاده‌ای دارند. این پلیمرها عبارتند از پلی‌الکترولیت‌های با وزن مولکولی بالا که ذرات ریز را جذب کرده و آن‌ها را به اجرام بزرگ تبدیل می‌کنند، این فرآیند را دلمه شدن می‌نامند. اجرام بزرگ‌تر به توده معروفند، تمایل به شناور شدن یا عدم چسبیدن به سطوح لوله‌کشی داشته و لای تشکیل نمی‌دهند. پلی‌الکترولیت‌های توده‌ساز را می‌توان با دوزهای 0.5 تا 1 میلی‌گرم در لیتر برای کنترل گل‌ولای و آشغال موجود در آب به‌کار گرفت. استفاده از این مواد توده‌ساز در روش ضربه‌ای و در دوره‌های زمانی غیرمستمر، بهترین نتیجه را به‌همراه دارد، اما مواد متلاشی‌کننده برای داشتن بیشترین تاثیر باید به طور مستمر استفاده شوند. این مواد در فرمول‌بندی ترکیبات بازدارنده رسوب و خوردگی‌های خاص قرار می‌گیرند.

نوع دیگر مواد کنترل‌کننده گل‌ولای و آشغال، ترکیبات متلاشی‌کننده هستند. این ترکیبات اثر تقابلی داشته و از تشکیل رسوب گل‌ولای جلوگیری می‌کنند زیرا قابلیت «دفع» ذرات را دارند. متلاشی‌کننده‌ها از تشکیل توده‌های بزرگ‌تر و فشرده شدن آن‌ها برای ساختن گل‌ولای جلوگیری می‌کنند. این عملکرد سبب معلق ماندن

1. *Sero - Group*

ذرات در آب می‌شـــود و در این وضعیت ذرات آمادگی دفع شدن با عمل زیرآب‌کشی معمولی را پیدا می‌کنند.

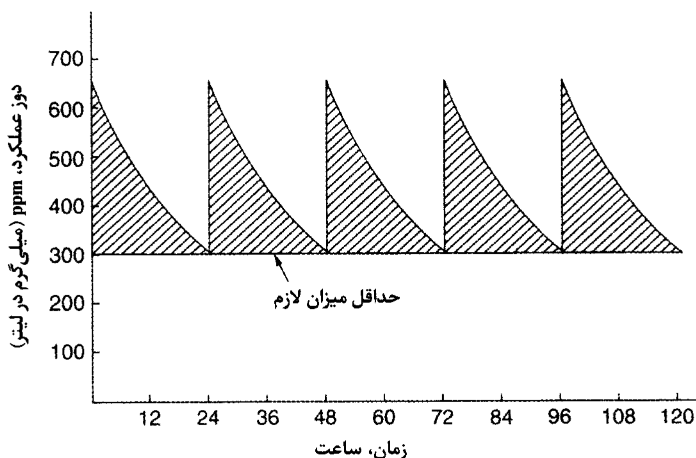
آماده‌سازی آب برج خنک‌کننده و کندانسور تبخیری. یک برنامه کامل آماده‌سازی آب سیستم‌های کندانســوری در تجهیزات تهویه مطبوع باید شامل کلیه موارد لازم برای جلوگیری از خوردگی و تشــکیل رسوب‌ها باشــد. علاوه بر این مشخصات لازم برای کنترل با عمل زیرآب‌کشـــی به منظور تجمع بیـــش از حد املاح معدنی در برج خنک‌کننده و مواد کندانسور تبخیری باید ایجاد شده باشند.

آماده‌ســازی به کمک هواشوها و اســپری سطحی. عملکرد آماده‌سازی به‌کمک هواشوها و اسپری‌های سطحی در مورد برج خنک‌کننده باز و سیستم‌های کندانسور تبخیری یکســـان هستند. تفاوت بین این دو عملکرد به شرایط متنوع دما و رطوبت برج‌های خنک‌کننده باز بستگی دارد.

برنامه‌های تغذیه و کنترل در آماده‌سازی آب سرمایش

آزمایش‌های کنترل. کیت‌های ساده و با عملکرد آسان، برای آزمایش‌های مستمر به منظور تعیین میزان مواد بازدارنده و کلریدها در چرخه‌های تراکم و کنترل زیرآب‌کشی در دســـترس هستند (مشابه آن‌چه در تصویر 33 نشان داده شده است). برای کنترل مناســب و مطمئن شـــدن، آزمایش‌ها باید به طور روزانه انجام شـــوند. آزمایش‌های اضافی به منظور تایید دقت نتایج آزمایش‌های میدانی توســط شرکت خدمات‌رسانی آب انجام می‌شود.

روش‌های تغذیه. ترکیبات و مواد لازم به آسانی از طریق هر مجرایی که در دسترس باشد به طور تغذیه ضربه‌ای انجام شده و معمولا مواد به درون برج و یا سینی چگالنده هدایت می‌شـــوند. این نوع تغذیه نیاز به مواد افزودنی به طور مستمر با دوز بالا دارد تا میزان حداقل مواد بازدارنده در آب بازچرخش تامین شود. مثلا برای تامین میزان حداقل 300 میلی‌گرم در لیتر ماده بازدارنده خوردگی در برج خنک‌کننده، دوز شوک باید بیش از 664 میلی‌گرم در لیتر برای هر روز باشد. تصویر (43) نشان‌دهنده میزان مواد پس از اعمال دوز شوک اولیه در هر 24 ساعت برای 1000 گالن (3800 لیتر) آب در سیستمی که با ظرفیت 100 تن (352 کیلووات) در هر 24 ساعت با هفت چرخه تراکم و نرخ زیرآب‌کشی 0.5 گالن در دقیقه (1.9 لیتر در دقیقه) است.



تصویر (43): تغییر میزان بازدارنده‌ها در آماده‌سازی ضربه‌ای برج‌های خنک‌کننده

طبق آن‌چه در تصویر (43) نشان داده شده است، این روش می‌تواند بسیار پرهزینه و همراه با اتلاف زیاد باشد. مناطق هاشورزده نشان‌دهنده عملکردهای لازم اضافی برای تامین سطح چگالی 300 میلی‌گرم در لیتر است. بنابراین برای انجام عملکرد به طور یکنواخت، روش‌های تغذیه مقطعی باید به‌کار برده شوند.

اجرای روال شوک تغذیه‌ای در مورد انواع فرآیندهای آماده‌سازی نظیر استفاده از تمیزکننده‌ها و میکروب‌کش‌ها ضروری است. این عملکردها در دوزهای بالا بر اساس یک برنامه دوره‌ای اجرا می‌شوند تا نتایج تمیزکاری و دفع بیولوژیکی موثر باشند و با اجرای مستمر با دوزهای پایین این نتایج به دست نخواهد آمد.

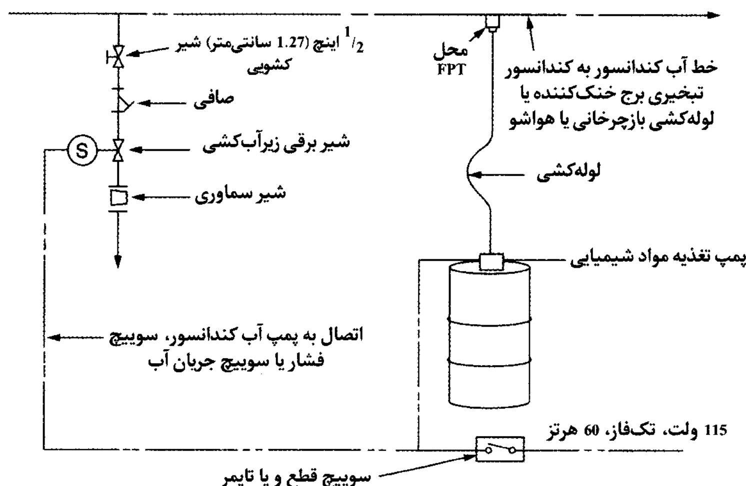
1. تغذیه‌کننده‌های خشابی[1]. برای اعمال تغذیه تدریجی و مستمر با سرعت کمتر، از تغذیه‌کننده‌های خشابی استفاده می‌شود. این نوع دستگاه‌ها در طرح‌های مختلف ارائه می‌شوند. در همه طرح‌ها یک قوطی یا مخزن محتوی ماده آماده‌سازی وجود دارد که به تدریج و در زمانی طولانی رقیق و یا حل می‌شود.

2. روش‌های تغذیه تناسبی. یک روش دقیق‌تر در تغذیه مواد در فرآیند آماده‌سازی، استفاده از پمپ تغذیه تناسبی مواد شیمیایی است. پمپ‌های تغذیه تناسبی، مواد لازم را به طور مستقیم به نسبت اتلاف مواد شیمیایی موثر در سیستم اضافه کرده

1. Canister

و به این ترتیب حداقل دقیق و مطلوب میزان مواد را تامین می‌کنند. با اســتفاده از این پمپ‌ها از اتلاف بیش از حد مواد بر اثر تغذیه شــوک یا تغذیه‌کننده‌های خشــابی جلوگیری می‌شود.

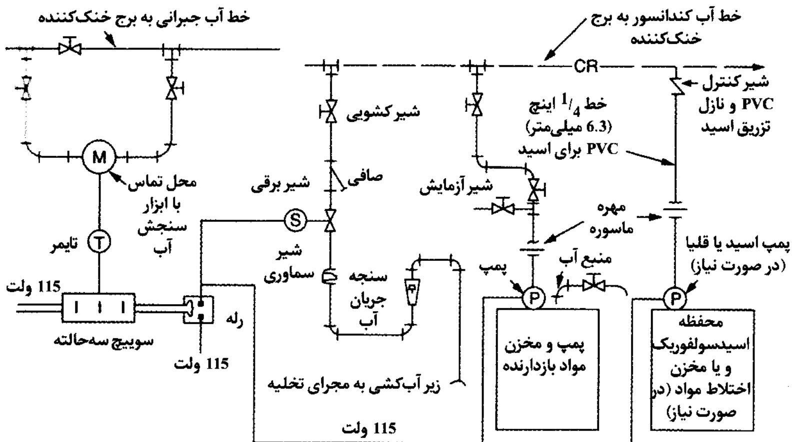
در یک روش ساده تغذیه تناسبی از یک پمپ تغذیه مواد شیمیایی متصل به پمپ بازچرخانی آب در برج خنک‌کننده، کندانسور تبخیری یا سردکننده افشانه‌ای استفاده می‌شــود. این پمپ مواد لازم را به طور مســتقیم از یــک محفظه به مخزن یا تانک مخلوط مواد اضافه می‌کند. تصویر (44) اســاس این روش تغذیه را نشان داده است. در این سیستم مواد لازم به طور اتوماتیک بر اساس ضریب بار مستمر تعیین شده به خط آب بازچرخش کندانسور تزریق می‌شوند و به این ترتیب آب کافی به طور مستمر با روشن بودن پمپ آب کندانسور به بیرون رانده می‌شود. این عملکرد تعداد چرخه‌های تراکم را به میزان مطمئن حفظ و با تغذیه مستمر متناسب با نرخ زیرآب‌کشی، اتلاف آب فرآیند زیرآب‌کشی را جبران می‌کند.



تصویر (44): سیستم ساده تناسبی تغذیه مواد شیمیایی و زیرآب‌کشی برای برج‌های خنک‌کننده

یک سیســتم بنیادی، اساســی با تطابق جامع و کاملا اتوماتیک به عنوان واحد کنترل از معیار جریان آب استفاده می‌کند. از آن جایی که آب جبرانی متناسب با آب

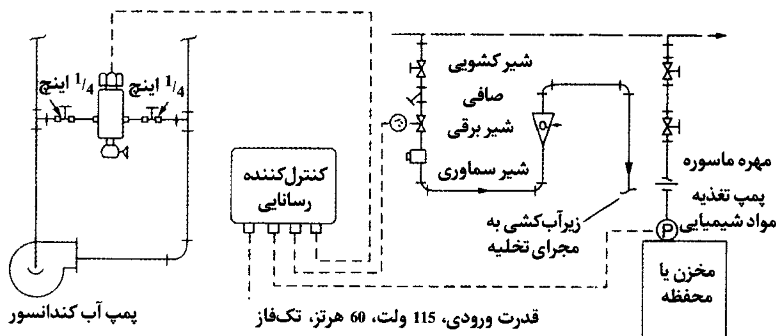
تبخیری و بار واقعی در سیستم آب کندانسور است، این ابزار دقیق یک سیستم کنترل کاملا اتوماتیک مستقل از کیفیت آب جبرانی است که اطلاع از کیفیت آن در صورت لزوم به هیچ ابزار دقیق اضافی به جز اسباب کنترل pH نیاز ندارد. با این سیستم، آب به مقدار کافی و به طور اتوماتیک از آب بازچرخش زیرآب‌کشی می‌شود تا حداکثر تعداد چرخه‌های تراکم مجاز انجام شوند. سپس در این مرحله به طور مستقیم به نسبت لازم تغذیه می‌شود تا با عمل زیرآب‌کشی، آب اتلاف شده بر اثر فرآیند زیرآب‌کشی جبران شود. تصویر (45) این نوع سیستم را نشان می‌دهد.



تصویر (45): سیستم عیار فعال آب در فرآیند آماده‌سازی تغذیه زیرآب‌کشی برای سیستم آب کندانسور

سایر سیستم‌های رایج با عملکرد تغذیه و زیرآب‌کشی تناسبی اتوماتیک از ابزار تجزیه‌کننده مقدار کل جامدات حل شده (TDS) برای کنترل استفاده می‌کنند. این نوع دستگاه‌ها «کنترل‌کننده‌های هدایتی» یا «کنترل‌کننده‌های TDS» نامیده می‌شوند. از اینجایی که جامدات کانی حل شده در آب تناسب مستقیم با ضریب هدایت الکتریکی دارند، اندازه‌گیری ضریب هدایت الکتریکی برای تعیین هرگونه تغییر در میزان مواد جامد حل شده در آب، به‌کار می‌رود. به دلیل این‌که مواد جامد حل شده در آب، متناسب با فرآیند تبخیر افزایش یافته و بار سیستم خنک‌کننده را نیز

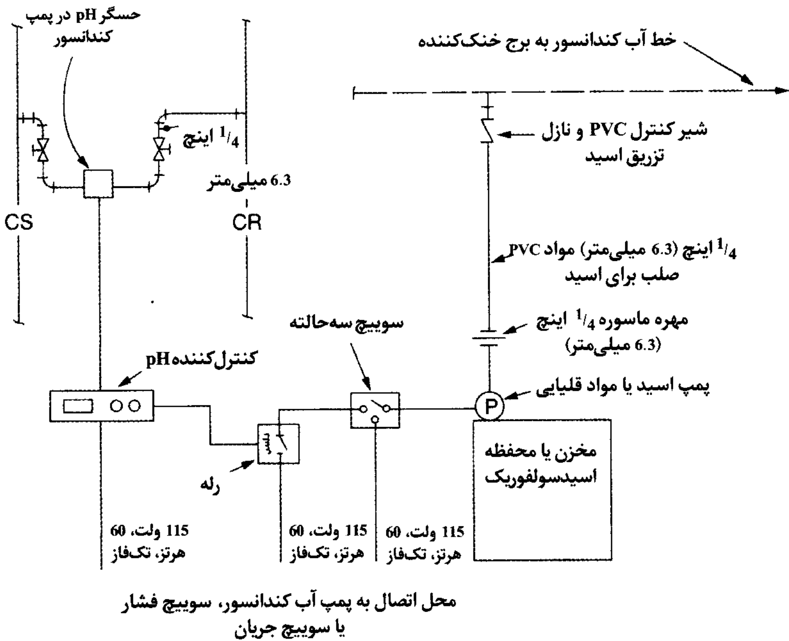
افزایش می‌دهند. این سیستم کاملا اتوماتیک است. در این سیستم روال زیرآب‌کشی هنگامی فعال می‌شـــود که کنترل‌کننده TDS مقادیر بالای TDS در آب را تشـــخیص می‌دهد و بدین ترتیب حداکثر تعداد مجاز چرخه‌های تراکم انجام می‌شود. سپس مواد افزودنی به تناسب و مستقیم به آب افزوده می‌شوند تا جایگزین اتلاف مواد بر اثر فرآیند زیرآب‌کشی شوند. تصویر (46) چنین سیستمی را نشان می‌دهد.



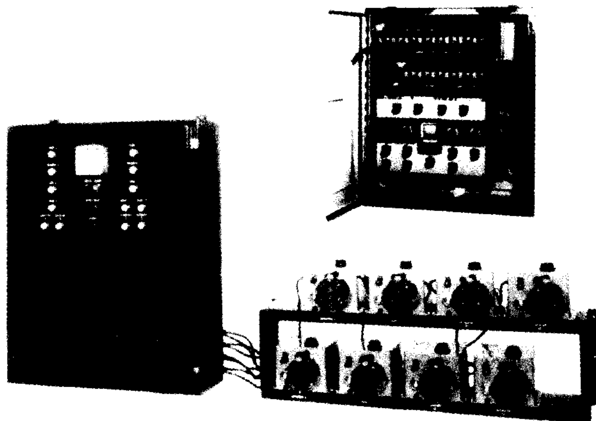
تصویر (46): سیستم آماده‌سازی آب به روش تغذیه و زیرآب‌کشی با کنترل اتوماتیک ضریب رسانایی

دستگاه کنترل‌کننده دیگری که در سیستم‌های تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرد، دستگاه کنترل pH است که در مواقعی که به علت شرایط جوی یا کیفیت آب جبرانی یا روال برنامه آماده‌ســازی اجرایی، کنترل pH ضرورت دارد، این دستگاه مورد نیاز است. دستگاه کنترل‌کننده pH، به طور اتوماتیک مقدار pH آب بازچرخش را در حد مطلوب حفظ می‌کند و در صورت نیاز پمپ تغذیه مواد شـــیمیایی را برای افزوده شدن مواد اسیدی یا قلیایی فعال می‌کند (تصویر 47). در تصویرهای (48 و 49) دســـتگاه‌های کنترل pH و TDS، پمپ‌های تغذیه و خط مخلوط‌کننده مواد همراه با مخازن آن نشان داده شده‌اند.

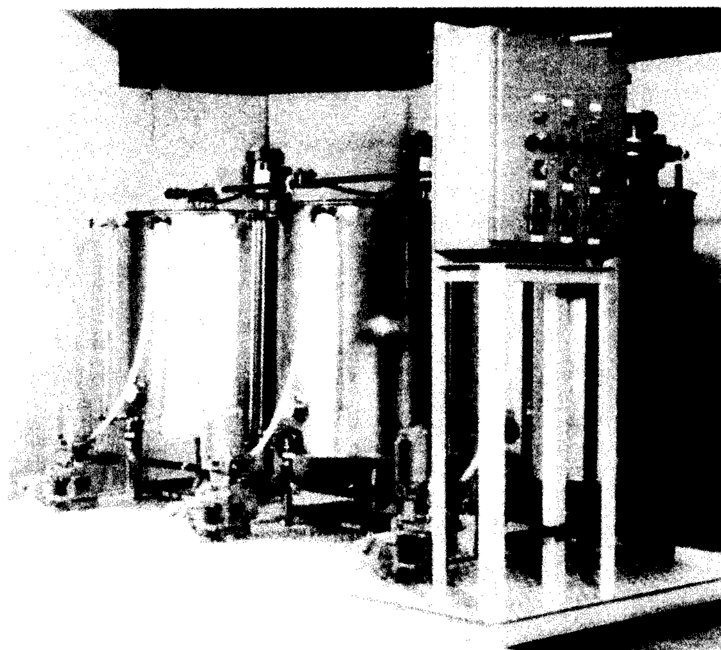
دســـتگاه‌های کنترل قابلیت متصل شدن به سیســـتم‌های مدیریتی ساختمان (BMS) به منظور بازبینی ســـریع و آنی تاسیسات و اتصال به کامپیوترهای کنترل از راه دور را دارند. آماده‌سازی آب با مواد شیمیایی در برج‌های خنک‌کننده، یا بازبینی منظم مقادیر اســـتاندارد به طور مستقیم با تجزیه‌کننده‌های اتوماتیک قابل کنترل و



تصویر (47): سیستم کنترل اتوماتیک pH



تصویر (48): سیستم اتوماتیک آماده‌سازی آب



تصویر (49): پمپ‌های تغذیه مواد شیمیایی و مخزن‌های اختلاط مواد همراه با پانل کنترل فرآیند

پیامد آن کنترل تغذیه مواد شیمیایی است. سایر سیستم‌هایی که موجود هستند بر اساس نرخ خوردگی میزان تغذیه شیمیایی را کنترل می‌کنند. بررسی نرخ خوردگی برای کنترل و افزودن مواد شیمیایی در صورت نیاز به منظور دستیابی به نرخ خوردگی خاصی در سیستم انجام می‌شود. میکروب‌کش‌ها با استفاده از تایمر به آب افزوده می‌شوند و با کنترل‌کننده‌های زمانی مقدار مواد میکروب‌کش مورد نیاز در زمان‌ها یا روزهای خاص در هفته به آب اضافه می‌شوند. کلیه عملیات فوق توسط کامپیوتر بازنگری و کنترل می‌شوند.

آماده‌سازی آب سیستم‌های آبی بازچرخانی مدار بسته

ضرورت آماده‌سازی و بررسی آب در سیستم‌های آبی بازچرخانی مدار بسته، همواره مورد سوال است. اغلب مشاهده می‌شود که به علت بسته بودن این نوع

سیستم‌ها، آن‌ها قادر به تولید ناخالصی، مواد معدنی اضافی و گازهای خورنده محلول در آب، یعنی عوامل اصلی جرم و خوردگی نیستند.

اما تجربه‌های عملی نشان می‌دهند که آب جبرانی مصرفی در سیستم‌های بسته، بسیار بیش از مقادیر پیش‌بینی شده است. مثلا، یک مخزن برگشتی پمپ بازچرخانی با نشتی بسیار جزیی برای تامین روان‌سازی به نرخ 1 اونس در دقیقه (30 میلی‌لیتر در دقیقه) نیاز به آب جبرانی به مقدار 337.5 گالن در ماه (1260 لیتر در ماه) یا 4050 گالن در سال (15000 لیتر در سال) دارد.

در بعضی مواقع، تجربه نشـــان داده اســـت که نرخ آب جبرانی در سیستم بسته می‌تواند به میانگین حجمی 100 درصد در ماه برســـد. آب جبرانی ضروری است زیرا اتلاف آب packing glands (بر اثر نشتی سیستم) و تخلیه آب به منظور تعمیر پمپ‌ها، شیرها یا ابزارهای کنترلی وجود دارد. بنابراین با وجود آب جبرانی به طبع مواد معدنی حل شـــده و اکســـیژن نیز حضور خواهند داشت. سختی کلسیم و منیزیم در سطوح انتقال حرارت رســـوب خواهند کرد و با افزایـــش آب جبرانی، میزان تجمع آن‌ها نیز بیشتر خواهد شد. کلیه سیستم‌های بسته باید «تنفس» کنند و مخزن‌های انبساط موجود در این سیستم‌ها یک منبع هوای آزاد جو و گازهای خورنده است.

کوپل گالوانیک از فلزات مس، آهن، برنج و آلومینیم معمولا بدون اتصال دی‌الکتریک در سیستم‌های بسته مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند و عدم اتصال دی‌الکتریک سبب افزایش نرخ خوردگی فلز کمتر نجیب در کوپل می‌شـــود. بنابراین آماده‌سازی آب این قبیل سیستم‌ها نیز برای جلوگیری از مشکلات خوردگی و رسوب‌ها برای تامین پاکی و بازدهی سطوح انتقال حرارت، مورد قبول و موافقت واقع شده است.

پیش از آنکه سیستم آبی بازچرخانی مدار بسته برای جلوگیری از جرم و خوردگی آماده‌ســـازی شود باید آن را کاملا تمیز کرد. کلیه پســـماندهایی که در زمان ساخت سیستم به آن وارد شده‌اند باید دفع شوند. علاوه بر این، کلیه پوشش‌های روغنی و یا براده‌های به جا مانده باید از درون لوله‌ها پاک شوند تا از ایجاد خوردگی و آسیب‌های ناشـــی از این منابع جلوگیری شـــود. جرم ســـیاه مغناطیس آهن یک مشکل خاص سیســـتم‌های مدار بسته اســـت و باید نه تنها به علت جلوگیری از خوردگی و ایجاد رسوب‌های عایق حرارت پاک شود بلکه به منظور پیشگیری از آسیب‌رسانی به پمپ،

خط فرآیند و درزبندی‌های مکانیکی نیز باید برطرف شوند.

موادی که برای این نوع تمیزکاری به‌کار برده می‌شوند باید شوینده‌هایی با کف کم باشند که از مواد متلاشی‌کننده قوی ساخته شده باشند تا از تشکیل مجدد رسوب‌ها جلوگیری کنند. مواد متلاشی‌کننده نقش مهمی در ترکیب پاک‌کننده‌های سیستم مدار بسته دارند زیرا این نوع مواد در برطرف کردن ذرات ریز و سیاه اکسیدآهن مغناطیسی و معلق نگه‌داشتن آن‌ها در محلول پاک‌کننده بازچرخیده شده و جلوگیری از ته‌نشین و یا توده شدن آن‌ها بسیار موثر هستند. پاک‌کننده‌های حاوی مواد شوینده و متلاشی‌کننده باید طبق دوز پیشنهادی تولیدکننده مواد به مدت 3 تا 4 ساعت به آب بازچرخش اضافه شوند. سپس آب تخلیه شده و سیستم مجددا آبگیری شده و با سرعت هرچه بیشتر بازچرخیده شود و کلیه این عملیات به طور هم‌زمان انجام شوند تا حداکثر جریان از درون کلیه قسمت‌های سیستم برقرار شود و از نادیده گرفته شدن گلوگاه‌ها و کنج‌های بسته که رسوب‌ها می‌توانند مستقر شوند، جلوگیری شود. آب سیستم باید با فشار تخلیه شود تا هیچ اثری از مواد شوینده برجامانده و مواد معلق باقی نماند.

پس از تمیزکاری، سیستم باید از نظر کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری مورد بررسی قرار گیرد. ابتدا، آب جبرانی باید تجزیه شود تا مشخص شود که آیا آماده‌سازی اولیه مانند نرم کردن آب لازم است. سپس مواد شیمیایی باید برای جلوگیری از خوردگی و رسوب‌گذاری بیشتر به آب افزوده شوند. بعد از این مرحله، سیستم مدار بسته با آب تازه و مواد بازدارنده خوردگی و رسوب‌گذاری در شرایط سرما و یخبندان با محلول آب و ترکیب ضدیخ‌زدگی گلیکول آبگیری می‌شود. محلول‌های ضدیخ در دوره‌های فزاینده به منظور حفاظت خطوط لوله‌کشی سیستم‌های مدار بسته هیدرونیک آب سرد و گرم از یخ‌زدگی و تخریب مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی استفاده از محلول‌های ضدیخ لازم می‌شود، می‌توان از اتیلن‌گلیکول یا پروپیلن گلیکول بازدارنده با حداقل غلظت 30 درصد استفاده کرد. از ضدیخ‌های گلیکول ویژه سیستم‌های تهویه مطبوع به جای ضدیخ‌های مورد استفاده در وسایل نقلیه باید استفاده کرد. نمونه محلول‌های ضدیخ باید در دوره‌های متناوب تجزیه شوند تا اطمینان حاصل شود که ترکیب بازدارنده افت غلظت و یا تجزیه شیمیایی نشده باشد. سیستم‌های مدار بسته که با آب تازه پر شده‌اند

باید برای کنترل رسوب و خوردگی آماده‌سازی شوند.

سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای بالا. سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای بالا [1](HTHW) به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که دمای آن‌ها (187 °C) 350 °F و فشار سیستم 450 پوند بر اینچ مربع (3000 کیلوپاسکال) باشد. این سیستم‌ها معمولا در ایجاد حرارت مرکزی در مجتمع‌های بزرگ و یا خوابگاه‌های عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فقط آب نرم شده با زئولیت در این سیستم‌ها باید مصرف شود و در غیر این‌صورت به دلیل وجود دمای بالا همراه با حجم زیاد آب سیستم، جرم‌های رسوبی بر روی سطوح محیط انتقال حرارت در دیگ سیستم HTHW ایجاد می‌شوند. نسبت حجم آب به مساحت محیط انتقال حرارت به میزانی است که حتا رسوب‌های جرمی اولیه نیز برای ایجاد اختلال قابل توجه در فرآیند انتقال حرارت کفایت می‌کنند.

عملکردهای آماده‌سازی اضافی شامل یک ترکیب اکسیژن‌زدا مانند دی‌اتیل‌هیدروکسی لامین یا سولفیت‌سدیم است که ماده اخیر در سیستم‌هایی که فلزات غیرآهنی دارند، کارآیی بهتری دارد. سود سوزآور برای حفظ pH آب در دامنه 8 تا 10 استفاده می‌شود.

ترکیبات متلاشی‌کننده و بازدارنده جرم به منظور داشتن سطوح انتقال حرارت پاک و تمیز به‌کار برده می‌شوند. این ترکیبات از بازدارنده‌های باثبات حرارتی نظیر پلی‌اکریلیت‌ها، پلی‌متاکریلیت‌ها و فسفانات‌ها تشکیل شده‌اند.

سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای متوسط. سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای متوسط [2](MTHW) به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که دمای آن‌ها250 °F (120 °C) تا (177 °C) 350 °F و فشار سیستم بالای 30 پوند بر اینچ مربع (206 کیلوپاسکال) باشد. آب در این سیستم‌ها مشابه سیستم‌های (HTHW) آماده‌سازی می‌شود. اکسیژن‌زداهایی نظیر دی‌اتیل‌هیدروکسی لامین یا سولفیت‌سدیم میزان رسوب و خوردگی را کنترل می‌کنند و برای حفظ pH در دامنه 8 تا 10 از سود سوزآور و یا مواد قلیایی مشابه استفاده می‌شوند. سیستم باید با آب نرم شده با زئولیت آبگیری شود تا از تشکیل رسوب‌های جرمی در سطوح محیط انتقال حرارت جلوگیری شود. بازدارنده‌های جرم و ترکیبات متلاشی‌کننده باید به صورت بازدارنده‌های باثبات

1. *High-Temperature Hot-Water Heating System (HTHW)*
2. *Medium-Temperature Hot-Water Heating System (MTHW)*

حرارتی طبق آن‌چه در بالا ذکر شد، به‌کار گرفته شوند.

سیستم‌های آب گرم کم‌دما. سیستم‌های آب گرم کم‌فشار (LTHW)[1] به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که در دمای کمتر از 250 °F (120 °C) با حداکثر فشار 30 پوند بر اینچ (206 کیلوپاسکال) عملکرد دارند. در سیستم‌های کم‌دما کوپل‌های بای متال از فولاد، مس، برنج و آلومینیم معمولا استفاده می‌شوند. آب بازچرخش در سیستم LTHW به بهترین نحو با مواد بازدارنده خوردگی نظیر مانند ترکیب براکس و نیتریت‌سدیم آماده‌سازی می‌شوند. این بازدارنده و سایر مواد بازدارنده مشابه در دماهای بالاتر از 250 °F (120 °C) استفاده نمی‌شوند زیرا ثبات آن‌ها در دماهای بالا مورد تردید است. ظاهرا مکانیسم ایجاد پوشش توسط این مواد در دماهای بالا شدیدا محدود می‌شود، به طوری‌که در مورد بازدارنده‌های نیتریت‌دار بر روی سطوح انتقال حرارت لکه‌های جرم و حتا تجزیه ماده بازدارنده اتفاق می‌افتد.

سیستم‌های بازدارنده ترکیب براکس نیتریت‌سدیم و سایر ترکیبات با بنیان نیتریت در غلظت‌های 3000 تا 4000 میلی‌گرم در لیتر و دمای 180 °F به‌کار برده می‌شوند. حال آنکه غلظت‌های 1000 تا 2000 میلی‌گرم در لیتر برای این قبیل سیستم‌ها در کاربری پایین‌تر از دمای 180 °F کافی است. در فرآیند آماده‌سازی با ترکیبات بنیان نیتریت، استفاده از بازدارنده‌ها خاص مس و برنج نظیر مرکاپتوبنزوتیازول یا فنیل‌تریازول‌ها به منظور به حداقل رساندن آسیب‌های وارده به مس و خوردگی فولاد بر اثر القایی مس حایز اهمیت است.

سایر مواد بازدارنده خوردگی که به‌صورت مقادیر نسبی در مخلوط موجود هستند شامل فسفات‌های آلی،انیدها، سیلیکات‌ها، بنزوات‌ها، فسفانات‌ها و مولیبیدات‌ها و ترکیبات مختلف از این مواد با سایر مواد آلی هستند. غلظت‌های توصیه شده از طرف فروشنده در مورد این نوع بازدارنده‌ها باید رعایت شوند تا کنترل خوردگی به نحو مناسب انجام شود.

بازدارنده‌های ویژه کنترل جرم و رسوب همراه با بازدارنده‌های خوردگی استفاده می‌شوند و معمولا در مخلوط نسبی وجود دارند. بازدارنده‌های جرم برای سیستم‌های گرمایش LTHW شامل پلی‌اکریلیت‌ها، پلی‌متاکریلیت‌ها، پلی‌مالئیت‌ها، پلی‌استیرن سولفاته، کربوکسی متیل سلولز، لیگنین و فسفانات‌ها هستند. برخی از این مواد به

1. *Low-Temperature Hot-Water Heating System (HTHW)*

عنوان مواد متلاشی‌کننده که مانع از رسوب‌گذاری ذرات ریز هستند، عمل می‌کنند و کنترل‌کننده بسیار مناسب برای جرم و رسوب هستند. زمانی‌که این بازدارنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، معمولا نرم کردن آب جبرانی مورد مصرف در اتلاف‌های «عادی» نظیر چکه کردن، نشت، تعمیرات و ... ضرورت ندارد.

سیستم‌های آب خنک شده. سیستم‌های آب خنک شده در دمای پایین‌تر از 140 °F (60 °C) و معمولا در دامنه دمای 44 °F تا 54 °F (12 °C تا 10 °C) برای خنک کردن آب عمل می‌کنند. بازدارنده‌های براکس نیتریت‌سدیم و سایر مخلوط‌های با بنیان نیتریت با غلظت 500 ppm تا 1000 در pH به میزان 7 تا 10 استفاده می‌شوند. وجود بازدارنده‌های فلزات غیرآهنی در ترکیبات بازدارنده با بنیان نیتریت در کاهش تاثیرات شدید نیتریت بر آلیاژ لحیم و سایر فلزات غیرآهنی اهمیت بسیار زیادی دارد. بازدارنده‌هایی نظیر براکس، بنزوات‌سدیم، فسفات‌ها و بازدارنده‌های خاص فلز مس، مرکاپتوبنزوتیازول یا فنیل‌تریازول از این گروه بازدارنده‌ها هستند. سیستم‌های آب خنک شده همگی دارای قطعاتی هستند که ساختار چندفلزی دارند و در آن‌ها فلزاتی نظیر آهن، فولاد، مس، برنج و آلومینیم به‌کار برده شده است و بنابراین باید بازدارنده‌های محافظ این سیستم‌ها دارای فرمول‌بندی متعادل با نسبت‌های لازم باشند تا از حفاظت هر یک از فلزات به طور جداگانه و همچنین در برابر کوپل‌های گالوانی آن‌ها اطمینان حاصل شود.

سایر بازدارنده‌های ویژه سیستم‌های آب خنک شده شامل مخلوط‌های آلی محتوی فسفات‌ها، سیلیکات‌ها یا مولیبیدات‌ها، بنزوات‌سدیم، فسفانات‌های آلی و آمین‌های آلی نظیر متیل گالیسین و ایمیدازولین هستند. بازدارنده‌ها و یا مخلوط‌های بازدارنده خوردگی ممکن است با مواد متلاشی‌کننده و بازدارنده‌های رسوب ترکیب شوند تا یک مجموعه ترکیبی مناسب آماده‌سازی آب ایجاد کنند. مواد متلاشی‌کننده در این ترکیبات مشابه همان موادی است که در سیستم‌های آب گرم به‌کار می‌روند.

خنک‌کننده‌های مدار بسته. خنک‌کننده‌های مدار بسته، سیستم‌های آبی کندانسور بسته هستند که با یک خنک‌کننده تبخیری ترکیب شده‌اند. مدار بسته کندانسور مشابه مدار بسته آب خنک با همان فرمول‌بندی‌های موجود در مواد بازدارنده برای کنترل خوردگی و رسوب آماده‌سازی می‌شود.

سیستم‌های تبادل حرارتی خورشیدی. یکی دیگر از انواع سیستم‌های بسته که استفاده از آن رو به رشد است، مدار تبادل حرارتی با مصرف بهینه انرژی خورشیدی است. آب این سیستم‌ها نیز از نظر خوردگی و رسوب باید تحت کنترل قرار گیرد. موثرترین فرآیندهای آماده‌سازی در این قبیل سیستم‌ها همان روش‌های متداول در سیستم‌های حرارتی آب گرم و خنک هستند.

آزمایش‌های کنترل. آزمایش‌های کیفیتی از نمونه آب آماده‌سازی شده در سیستم‌های بسته باید به فواصل حداقل یک بار در ماه انجام شود تا وضعیت سیستم بایگانی شود و از تامین میزان مطلوب مواد در آب اطمینان حاصل شود. حداقل آزمایشی که باید انجام شود، آزمایش میزان بازدارنده و pH آب است. آزمایش‌هایی که از طرف ارائه‌دهنده آب مصرفی انجام می‌شود باید حداقل ماهیانه باشد و شامل تجزیه کامل آب شامل میزان بازدارنده‌های موجود در آن باشد.

روش تغذیه. مواد افزودنی به آب در سیستم‌های بسته به چند وسیله ساده اضافه می‌شوند. ممکن است مواد را از هر نوع مجرای ورودی نظیر منبع انبساط و یا مخزن‌های باز به طور مستقیم به آب افزود.

در سیستم‌های کوچک ولی «کاملا بسته» ممکن است از یک پمپ همزن و یا پمپ واداشته (مشابه تصویر 35) برای تزریق مستقیم مواد از طریق شیر زیر آب و یا روزنه لوله استفاده کرد.

در بسیاری از موارد، نصب یک تغذیه‌کننده کنارگذر در کنار پمپ بازچرخانی مشابه تصویر (49) راحتا بیشتری دارد. با ایجاد اختلاف فشار مابین بخش تخلیه و بخش مکش پمپ بازچرخانی، آب موجود در سیستم با فشار از درون تغذیه‌کننده کنارگذر عبور می‌کند و مواد افزودنی به طور مستقیم به درون سیستم تزریق می‌شوند. تعمیر و نگهداری و اجرای برنامه آماده‌سازی در سیستم‌های بسته نسبتا آسان است و بازدهی حفاظت از خوردگی و کارآیی سیستم بسیار قابل توجه است.

منابع و مراجع

1. American Public Health Association (APHA): *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, APHA, Washington, DC, 1980.
2. American Water Works Association: *Water Quality and Treatment*, McGraw-Hill, New York, 1971.
3. *ASHRAE Handbook and Product Directory, Systems*, ASHRAE, Atlanta, GA, chap. 36, p. 36.16, 1980.
4. Atkinson, I. J. N., and Van Droffelaar, H.: *Corrosion and Its Control*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, 1982.
5. *Betz Handbook of Industrial Water Conditioning*. Beta Laboratories, Trevose, PA, 1980.
6. Blake, Richard T.: *Water treatment for HVAC and Potable Water Systems*, McGraw-Hill, New York, 8th ed., 1980.
7. Butler, G., and Ison, H. C. K.: *Corrosion and Its Prevention in Waters*, Litton Educational Publishing Co. (Reinhold), Chicago, 1966.
8. *Drew—Principles of Industrial Water Treatment*, Drew Chemical Corporation, Boonton, NJ, 11th ed., 1994.
9. Frayne, Colin: Cooling Water Treatment Principles and Practice, Chemical Publishing, New York, 1999.
10. Frayne, Colin: Boiler Water Treatment Principles and Practice, Chemical Publishing, New York, 2002.
11. Goddard, Hugh P. (ed.): "Materials Performance," vol. 13, no. 4, p. 9, April 1974 (Reprinted by permission).
12. Hausler, R. H.: "Economics of Corrosion Control," *Materials Performance*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, June, p. 9, 1978.
13. Hinst, H. E.: "12 Ways to Avoid Boiler Tube Corrosion," Babcock and Wilcox (Reprint).
14. Kemmer, Frank N. (ed.): *The Nalco Water Handbook*, McGraw-Hill, New York, 2nd ed., 1988.
15. Kilbaugh, W. A., and Pocock, P. J.: "Pointers on the Care of Low Pressure Steam Steel Boilers," *Heating/Piping/Air Conditioning*, February 1962.
16. Likens, Gene E.: "Acid Precipitation," *Chemical and Engineering News*, Nov. 22, p. 29, 1976.
17. Mayer, W. F., and Larsen, Russell: "An Evaluation of White Rust and Cooling Tower Metallurgy," AWT Analyst, March 1992.
18. McCoy, J. W.: *Chemical Analysis of Industrial Water*; Chemical Publishing, New York, 1969.
19. McCoy, J. W.: *The Chemical Treatment of Cooling Water*; Chemical Publishing, New York, 1974.
20. Nathan, C. C. (ed.): *Corrosion Inhibitors*, National Association of Corrosion Engineers, Houstin, 1973.
21. Nordell, Eskel: *Water Treatment for Industrial and Other Uses*, Litton Educational Publishing (Reinhold), Chicago, 1961.
22. Pincus, L. I.: *Practical Boiler Water Treatment*, McGraw-Hill, New York, 1962.
23. Powell, Sheppard T.: *Water Conditioning for Industry*, McGraw-Hill, New York, 1954.
24. Speller, Frank N.: *Corrosion Causes and Prevention*, McGraw-Hill, New York, 1951.
25. Sussman, Sidney: "Hot Water Heating Needs Water Treatment," *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, August 1965.
26. Sussman, Sidney: "Causes and Cures of Mechanical Shaft Seal Failures in Water Pumps," *Heating/Piping/Air Conditioning*, September 1963.
27. Uhlig, H. H. (ed): *The Corrosion Handbook*, Wiley, New York, 1948.
28. Uhlig, H. H.: *Corrosion and Corrosion Control*, Wiley, New York, 1971.

آماده‌سازی آب به منظور استفاده از آن در سیستم‌های تهویه مطبوع، یکی از فرآیندهای مهم در معماری و مهندسی ساختمان است که تاثیرات گوناگونی بر ارزیابی و کارآیی مجموعه‌های احداث شده دارد. در این کتاب منابع مختلف آب در طبیعت و منشا آن‌ها، همچنین انواع آلاینده‌های معدنی و ارگانیسم‌های آلی موجود در این منابع معرفی شده است؛ سپس با ارائه گزارش‌های واقعی از مناطق سکونت انسان‌ها، میزان و دامنه مجاز این آلاینده‌ها ارزیابی و روال تخریب و کاهش کارآیی سیستم‌های سرمایش و گرمایش بر اثر وجود آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.



این کتاب به روش افست به چاپ رسیده است و دارای برچسب اصالت کالا (هولوگرام) بر روی جلد می‌باشد. ضمن سپاس از دقت شما، خواهشمند است در صورت عدم وجود کیفیت چاپ یا هولوگرام، ما را مطلع فرمایید.



ISBN 978-600-5058-79-6